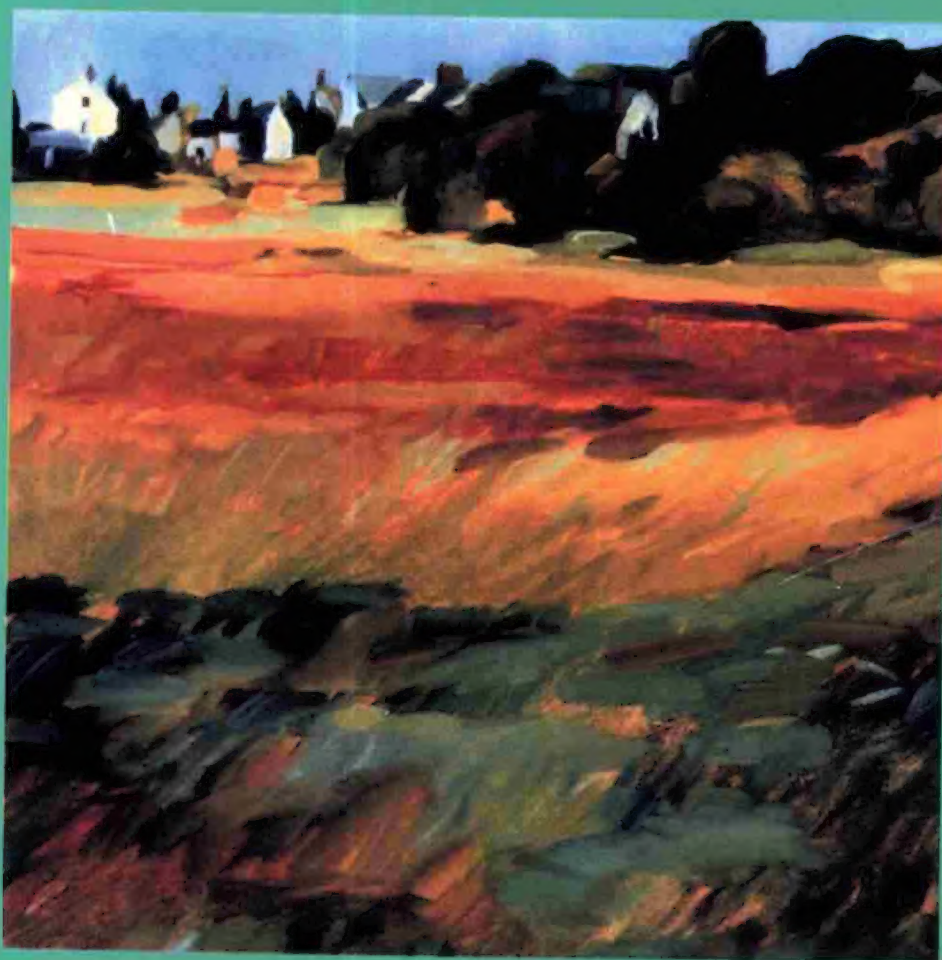


سرشت و خصوصیات خاکها

چاپ اول



تالیف: N. C. Brady

R. R. Weil

برگردان: دکتر سید صابر شاهویی

عضو هیات علمی دانشکده کشاورزی

دانشگاه کردستان



دانشگاه کردستان

سرشت و خصوصیات خاک ها

تألیف: Brady, N. C, and R. R. Weil

برگردان: دکتر سید صابر شاهویی

عضو هیات علمی دانشکده کشاورزی
دانشگاه کردستان

ناشر

انتشارات دانشگاه کردستان

Brady, Nyle, C.

برادی، نایل 1920

سرشت و خصوصیات خاکها/ تألیف (نایل برادی، ری ویل)؛ ترجمه صابر شاهویی، ویراستاران علمی حمید سیادت، آهنگ کوثر. کردستان: دانشگاه کردستان.
ح، ۸۳۹ VIII ص.: مصور، نقشه، جداول، نمودار.

ISBN 964- 96239- 0- 6 : ۷۵۰۰۰ ریال

فهرست نویسی براساس اطلاعات فیفا
کتابنامه،

۱- خاکشناسی. ۲- خاک. الف. ویل، ری، ۱۹۴۸-م. Weil, Ray. R.

ب. شاهویی، صابر، ۱۳۲۴-، مترجم- ج. عنوان

4 س 44 ب / S591 ۶۳۱،۴

کتابخانه ملی ایران ۴۵۲۹۴-۸۴ م

شناسنامه کتاب

نام کتاب: سرشت و خصوصیات خاکها

مؤلف: سی. نایل برادی و ار. ار. ویل

مترجم: سید صابر شاهویی

چاپ اول: ۱۳۸۵

تیراژ: ۲۰۰۰ جلد

تعداد صفحات: ۹۰۰ صفحه

ویراستار: دکتر آهنگ کوثر

شابک: ۹۶۴-۹۶۲۳۹-۰-۶

مجوز: ۷۰۷۷ مورخ ۸۵/۲/۵ اداره کل فرهنگ و ارشاد اسلامی استان کردستان

چاپ: لیتوگرافی آبرنگ

قطع: رحلی

ناشر: انتشارات دانشگاه کردستان (۸-۶۶۶۰۰۷۶ و تلفکس ۶۶۲۴۰۰۱) سنندج- بلوار پاسداران- خیابان

دانشگاه- دانشگاه کردستان

قیمت: ۷۵۰۰۰ ریال

حق چاپ و نشر برای مترجم محفوظ است.

فهرست و مطالب

(الف)

مقدمه

۱ خاک‌ها در پیرامون ما

- ۱-۱ نقش خاک در بوم‌سامان
۱-۲ خاک‌ها به‌عنوان بستر رشد نباتات
۱-۳ تنظیم‌کننده عرضه آب
۱-۴ بازچرخ‌کننده مواد خام
۱-۵ خاک ماوای موجودات زنده
۱-۶ خاک‌ها به‌عنوان مصالح مهندسی
۱-۷ خاک به‌عنوان جسم طبیعی
۱-۸ خاک‌رخ و لایه‌های (افق‌ها) آن
۱-۹ خاک سطحی و خاک تحت‌الارضی
۱-۱۰ خاک: فصل مشترک هوا، کانی‌ها، آب و زندگی
۱-۱۱ کانی‌ها (مواد معدنی) سازنده خاک‌ها
۱-۱۲ ماده آلی خاک
۱-۱۳ محلول خاک: محلول پویا
۱-۱۴ هوای خاک یک مخلوط در حال تغییر
۱-۱۵ اثرات متقابل چهار جز خاک در تامین عناصر غذایی
۱-۱۶ جذب عناصر غذایی به‌وسیله ریشه گیاه
۱-۱۷ کیفیت، تخریب و اصلاح مجدد خاک
۱-۱۸ نتیجه‌گیری نهایی

۲ تشکیل خاک از مواد مادری

- ۲-۱ هوادیدگی سنگ‌ها و کانی‌ها
۲-۲ هوادیدگی فیزیکی (خردشدن)
۲-۳ هوادیدگی شیمیایی (تجزیه‌شدن)
۲-۴ عوامل مؤثر تشکیل خاک
۲-۵ مواد مادری
۲-۶ مواد مادری درجا
۲-۷ مواد کوه‌رفت
۲-۸ ته‌نشست‌های آبرفتی و رودخانه‌ای
۲-۹ ته‌نشست‌های دریایی
۲-۱۰ موادمادری حمل‌شده به‌وسیله یخ یخچال‌ها و آب‌ذوب‌شده
۲-۱۱ مواد مادری انتقال‌یافته به‌وسیله باد
۲-۱۲ ته‌نشست‌های آلی
۲-۱۳ اقلیم (آب و هوا)
۲-۱۴ موجودات زنده
۲-۱۵ پستی و بلندی
۲-۱۶ زمان
۲-۱۷ خاک‌سازی در عمل
۲-۱۸ خاک‌رخ
۲-۱۹ نتیجه‌گیری نهایی
سوالات برای مطالعه
۳ طبقه‌بندی خاک
۳-۱ مفهوم خاک انفرادی
۳-۲ نظام طبقه‌بندی جامع خاک، رده‌بندی خاک
۳-۳ طبقات رده‌بندی و نام‌گذاری خاک
۳-۴ راسته‌های خاک

- ۳-۵
۳-۶
۳-۷
۳-۸
۳-۹
۳-۱۰
۳-۱۱
۳-۱۲
۳-۱۳
۳-۱۴
۳-۱۵
۳-۱۶
۳-۱۷
۳-۱۸
۴
۴-۱
۴-۲
۴-۳
۴-۴
۴-۵
۴-۶
۴-۷
۴-۸
۴-۹
۴-۱۰
۵
۵-۱
۵-۲
۵-۳
۵-۴
۵-۵
۵-۶
۵-۷
۵-۸
۵-۹
۵-۱۰
۵-۱۱
۶
۶-۱
۶-۲
۶-۳
۶-۴
۶-۵
۷۱
۷۱
۷۳
۸۰
۸۱

- ۸۵ انتی‌سول‌ها (خاک‌های جدید با تکامل ناچیز خاک‌رخ)
۸۸ انسیتی‌سول‌ها (با چهره‌های تشخیصی اندک و آغاز تکامل افق B)
۸۹ اندی‌سول‌ها (خاک‌های خاکسترهای آتش‌فشانی)
۹۰ جلی‌سول‌ها (خاک‌ها با یخ‌بندان دایمی و چرخش خاک به‌وسیله یخ)
۹۲ هیستوسول‌ها (خاک‌های آلی بدون یخ‌بندان دایمی)
۹۳ اریدسول‌ها (خاک‌های مناطق خشک)
۹۵ ورتی‌سول‌ها (رس‌های منبسط‌شونده و سیاه‌رنگ)
۹۸ مولی‌سول‌ها (خاک‌ها سیاه‌رنگ نرم چمن‌زارها)
۱۰۰ الفی‌سول‌ها (با افق ارچلیک یا ناتریک دارای مواد بازی متوسط تا زیاد)
۱۰۱ التی‌سول‌ها (با افق ارچلیک و باز کم)
۱۰۳ اسپدوسول‌ها (خاک‌های اسیدی، شنی جنگلی با درصد اشیاع بازی پایین)
۱۰۴ اکسی‌سول‌ها (خاک‌های دارای افق اکسیک، با هوادیدگی شدید)
۱۰۵ گروه‌های پایین رده‌بندی خاک
۱۱۲ نتیجه‌گیری نهایی
۱۱۲ سوالات برای مطالعه
۱۱۵ مه‌رازی خاک و خصوصیات فیزیکی آن‌ها
۱۱۵ رنگ خاک
۱۱۷ بافت خاک (توزیع اندازه‌ی ذرات خاک)
۱۲۳ کلاس‌های بافت خاک
۱۲۹ ساختمان خاک‌های معدنی
۱۳۰ چگالی خاک
۱۴۲ منافذ خاک در خاک‌های معدنی
۱۴۷ تشکیل و پایداری خاکدانه‌ها
۱۵۳ عملیات خاک‌ورزی و مدیریت ساختمان خاک
۱۶۰ خصوصیات خاک در ارتباط با استفاده‌های مهندسی
۱۶۸ نتیجه‌گیری نهایی
۱۶۸ سوالات برای مطالعه
۱۶۹ آب خاک: ویژگی‌ها و رفتار
۱۶۹ ساختار و خصوصیات مرتبط با آب
۱۷۲ اصول مویینه و آب خاک
۱۷۴ مفاهیم انرژی آب خاک
۱۸۰ میزان رطوبت خاک و پتانسیل آب خاک
۱۸۸ جریان آب مایع در خاک
۱۹۲ نفوذ آب در خاک و نفوذ عمقی
۱۹۶ حرکت بخار آب در خاک
۱۹۷ تشریح کیفی خیس‌بودن خاک
۲۰۲ عوامل مؤثر در مقدار آب قابل‌استفاده‌ی گیاه
۲۰۴ سازوکاری که به‌وسیله آن آب برای گیاهان فراهم می‌شود
۲۰۸ نتیجه‌گیری نهایی
۲۰۸ سوالات برای مطالعه
۲۱۱ خاک و چرخه آب
۲۱۲ چرخه جهانی آب
۲۱۴ سرنوشت بارندگی و آب آبیاری
۲۱۸ زنجیره خاک، گیاه، نیوار
۲۲۵ کارایی استفاده از آب
۲۲۷ مدیریت تبخیر - تعرق (ET)

۳۴۸	تنظیم کلوییدی واکنش خاک	۹-۳	۲۲۸	مدیریت تبخیر سطحی	۶-۶
۳۴۹	خاصیت بافری خاک	۹-۴	۲۳۱	هدررفت آب به صورت مانع از خاک	۶-۷
۳۵۱	ظرفیت بافری خاک‌ها	۹-۵	۲۳۴	فرونشست و آب‌های زیرزمینی	۶-۸
۳۵۲	تغییرات در pH خاک	۹-۶	۲۳۸	بهبود زه‌کشی خاک	۶-۹
۳۵۷	واکنش خاک : همبستگی‌ها	۹-۷	۲۴۴	میدان‌های زه‌کشی مخازن مواد فاضلاب	۶-۱۰
۳۶۱	تعیین pH خاک	۹-۸	۲۵۲	اصول و عملیات آبیاری	۶-۱۱
۳۶۲	روش‌های تشدید اسیدیته خاک	۹-۹	۲۶۰	نتیجه‌گیری نهایی	۶-۱۲
۳۶۳	کاهش اسیدیته خاک (مواد آهک‌دهی)	۹-۱۰	۲۶۱	سوالات برای مطالعه	
۳۶۴	واکنش‌های آهک در خاک	۹-۱۱	۲۶۳	تهویه و دمای خاک	۷
۳۶۷	میزان آهک: مقادیر مورد نیاز	۹-۱۲	۲۶۴	سرشت تهویه خاک	۷-۱
۳۷۰	ملاحظات عملی	۹-۱۳	۲۶۶	تهویه خاک در مزرعه	۷-۲
۳۷۳	اصلاح اسیدیته در خاک‌های تحت‌الارضی	۹-۱۴	۲۶۸	روش‌های مشخص کردن تهویه‌ی خاک	۷-۳
۳۷۵	نتیجه‌گیری نهایی	۹-۱۵	۲۶۸	پتانسیل اکسایش - احیایی (ریداکس)	۷-۴
۳۷۶	سوالات برای مطالعه		۲۷۱	عوامل موثر در تهویه‌ی خاک	۷-۵
۳۷۷	خاک‌های قلیایی و تحت تاثیر نمک و مدیریت آن‌ها	۱۰	۲۷۴	اثرات بوم‌زیستی تهویه‌ی خاک	۷-۶
۳۷۷	منابع قلیابیت	۱۰-۱	۲۷۷	رابطه‌ی تهویه با مدیریت خاک و گیاه	۷-۷
۳۷۹	خاک‌های قلیایی غیرشور مناطق خشک	۱۰-۲	۲۷۸	اراضی باتلاقی و خاک‌های آن‌ها با تهویه ضعیف	۷-۸
۳۸۱	تکامل خاک‌های مبتلا به شوری	۱۰-۳	۲۸۵	فرایندهایی که تحت تاثیر دمای خاک می‌باشند	۷-۹
۳۸۴	اندازه‌گیری شوری و قلیابیت	۱۰-۴	۲۹۱	جذب و هدررفت انرژی خورشیدی	۷-۱۰
۳۸۶	کلاس خاک‌های مبتلا به شوری	۱۰-۵	۲۹۴	خصوصیات گرمایی خاک‌ها	۷-۱۱
۳۸۹	رشد گیاهان در خاک‌های شور و خاک‌های سدیمی	۱۰-۶	۲۹۹	مدیریت دمای خاک	۷-۱۲
۳۹۰	مقاومت انتخابی گیاهان عالی به خاک‌های شور و خاک‌های سدیمی	۱۰-۷	۳۰۳	نتیجه‌گیری نهایی	۷-۱۳
۳۹۳	مدیریت خاک‌های شور و سدیمی	۱۰-۸	۳۰۳	سوالات برای مطالعه	
۳۹۵	اصلاح خاک‌های شور	۱۰-۹	۳۰۵	کلویدهای خاک : سرشت و اهمیت عملی آن‌ها	۸
۳۹۶	اصلاح خاک‌های شور سدیمی و خاک‌های سدیمی	۱۰-۱۰	۳۰۵	خصوصیات عمومی کلویدهای خاک	۸-۱
۴۰۰	مدیریت خاک‌های اصلاح‌شده	۱۰-۱۱	۳۰۷	انواع کلویدهای خاک	۸-۲
۴۰۱	نتیجه‌گیری نهایی	۱۰-۱۲	۳۰۹	کاتیون‌های جذب‌شده	۸-۳
۴۰۱	سوالات برای مطالعه		۳۱۰	مبانی ساختمان رس‌های سیلیکاتی لایه‌ای	۸-۴
۴۰۳	موجودات زنده و بوم‌شناسی خاک‌ها	۱۱	۳۱۲	سازمان کانی‌شناسی رس‌های سیلیکاتی	۸-۵
۴۰۳	تنوع جانداران خاک	۱۱-۱	۳۱۷	تکوین کلویدهای خاک	۸-۶
۴۰۶	جانداران در فعالیت	۱۱-۲	۳۲۰	توزیع جغرافیایی رس‌ها	۸-۷
۴۰۹	فراوانی جانداران، زیتوده و فعالیت حیاتی	۱۱-۳	۳۲۱	منبع بار بر روی کلویدهای خاک	۸-۸
۴۱۲	کرم‌های خاکی	۱۱-۴	۳۲۱	بار ثابت بر روی رس‌های سیلیکاتی	۸-۹
۴۱۵	موریانه‌ها	۱۱-۵	۳۲۲	بار وابسته به pH	۸-۱۰
۴۱۶	ریزجانوران خاک	۱۱-۶	۳۲۶	تبادل کاتیونی	۸-۱۱
۴۲۱	ریشه‌ی گیاهان عالی	۱۱-۷	۳۲۷	ظرفیت تبادل کاتیونی	۸-۱۲
۴۲۴	جلیک‌های خاک	۱۱-۸	۳۳۲	کاتیون‌های قابل تبادل در خاک مزارع	۸-۱۳
۴۲۵	قارچ‌های خاک	۱۱-۹	۳۳۲	تبادل کاتیونی و قابلیت استفاده عناصر غذایی	۸-۱۴
۴۲۲	اکتیوئیته‌های خاک	۱۱-۱۰	۳۳۳	تبادل آنیونی	۸-۱۵
۴۳۳	باکتری‌های خاک	۱۱-۱۱	۳۳۵	جذب آفت‌کش‌ها و آلودگی آب زیرزمینی	۸-۱۶
۴۳۴	شرایطی که در رشد ریزجانداران خاک مؤثر می‌باشند	۱۱-۱۲	۳۳۶	خصوصیات فیزیکی کلویدها	۸-۱۷
۴۳۵	اثرات مفید موجودات خاک	۱۱-۱۳	۳۳۷	استفاده‌های زیست‌محیطی از رس‌های قابل انبساط	۸-۱۸
۴۳۷	موجودات خاک و خسارت به گیاهان عالی	۱۱-۱۴	۳۳۹	نتیجه‌گیری نهایی	۸-۱۹
۴۴۰	رابطه‌ی بوم‌شناختی بین موجودات خاک	۱۱-۱۵	۳۳۹	سوالات مطالعه	
۴۴۰	ریزجانداران حاصل از مهندسی ژنتیک (تراژیکت)	۱۱-۱۶	۳۴۱	واکنش خاک : اسیدیته و قلیابیت	۹
۴۴۵	نتیجه‌گیری نهایی	۱۱-۱۷	۳۴۲	منابع هیدروژن و هیدرواکسید	۹-۱
۴۴۵	سوالات برای مطالعه		۳۴۷	طبقه‌بندی اسیدیته خاک	۹-۲

۵۵۷	قابلیت استفاده‌ی فسفر معدنی در pH های بالا	۱۴-۷	۴۴۷	مواد آلی خاک	۱۲
۵۵۸	ظرفیت تثبیت فسفر خاک‌ها	۱۴-۸	۴۴۷	چرخه جهانی کربن	۱۲-۱
۵۶۲	تنظیم عملی قابلیت استفاده‌ی فسفر خاک	۱۴-۹	۴۴۹	فرایند تجزیه در داخل خاک‌ها	۱۲-۲
۵۶۶	پتاسیم : سرشت و نقش بوم‌شناختی	۱۴-۱۰	۴۵۴	عوامل مهارکننده میزان تجزیه و معدنی شدن	۱۲-۳
۵۶۶	پتاسیم در تغذیه گیاه و حیوان	۱۴-۱۱	۴۶۱	هوموس : پیدایش و سرشت	۱۲-۴
۵۶۷	چرخه‌ی پتاسیم	۱۴-۱۲	۴۶۴	کمپوست و کمپوست کردن	۱۲-۵
۵۷۰	مسأله‌ی پتاسیم در حاصلخیزی خاک	۱۴-۱۳	۴۶۵	اثرات مستقیم ماده‌ی آلی بر روی رشد گیاه	۱۲-۶
۵۷۲	اشکال و قابلیت استفاده‌ی پتاسیم در خاک‌ها	۱۴-۱۴	۴۶۹	تأثیر مواد آلی بر روی خصوصیات خاک و محیط	۱۲-۷
۵۷۵	عوامل مؤثر در تثبیت پتاسیم در خاک‌ها	۱۴-۱۵	۴۶۹	مدیریت مقدار و کیفیت ماده آلی خاک	۱۲-۸
۵۷۶	جنبه‌های عملی مدیریت پتاسیم خاک	۱۴-۱۶	۴۷۳	تعادل کربن در نظام خاک - نبات - نیوار	۱۲-۹
۵۷۸	نتیجه‌گیری نهایی	۱۴-۱۷	۴۷۵	عوامل و عملیات مؤثر در میزان ماده‌ی آلی خاک	۱۲-۱۰
۵۷۸	سوالات برای مطالعه		۴۸۳	خاک‌ها و اثر گلخانه‌ای	۱۲-۱۱
۵۷۹	عناصر کم مصرف	۱۵	۴۸۶	خاک‌های آلی (هیستوسول‌ها)	۱۲-۱۲
۵۷۹	کمبود در مقابل سمیت	۱۵-۱	۴۸۸	نتیجه‌گیری نهایی	۱۲-۱۳
۵۸۱	نقش عناصر کم‌مصرف	۱۵-۲	۴۸۹	سوالات برای مطالعه	
۵۸۳	منابع عناصر کم‌مصرف	۱۵-۳	۴۹۱	اقتصاد نیتروژن و گوگرد در خاک	۱۳
۵۸۶	شرایط کلی که منجر به کمبود عناصر کم‌مصرف می‌شوند	۱۵-۴	۴۹۱	اثرات نیتروژن در رشد و توسعه گیاه	۱۳-۱
۵۸۶	عوامل مؤثر در قابلیت استفاده‌ی کاتیون‌های کم‌مصرف	۱۵-۵	۴۹۲	منشا و توزیع نیتروژن	۱۳-۲
۵۹۱	ترکیبات آلی به صورت کیلات	۱۵-۶	۴۹۴	چرخه‌ی نیتروژن	۱۳-۳
۵۹۵	عوامل مؤثر در قابلیت استفاده‌ی آنیون‌های کم‌مصرف	۱۵-۷	۴۹۶	آلی شدن (عدم تحرک) و معدنی شدن	۱۳-۴
۵۹۸	نیاز به تعادل عناصر غذایی	۱۵-۸	۴۹۷	تثبیت آمونیوم به وسیله‌ی کانی‌های رسی	۱۳-۵
۵۹۹	مدیریت خاک و نیازهای عناصر کم‌مصرف	۱۵-۹	۴۹۸	فراربت آمونیاک	۱۳-۶
۶۰۳	نتیجه‌گیری نهایی	۱۵-۱۰	۴۹۹	نیتراژنی شدن	۱۳-۷
۶۰۴	سوالات برای مطالعه		۵۰۱	مسأله‌ی آیشویی نیترات	۱۳-۸
۶۰۵	مدیریت عملی عناصر غذایی	۱۶	۵۰۵	هدررفت گازی نیتروژن بر اثر نیترات زدایی	۱۳-۹
۶۰۵	اهداف مدیریت عناصر غذایی	۱۶-۱	۵۱۱	تثبیت زیستی نیتروژن	۱۳-۱۰
۶۰۹	کیفیت محیط زیست	۱۶-۲	۵۱۳	تثبیت همزیست با خانواده نیام‌داران	۱۳-۱۱
۶۱۵	منابع عناصر غذایی	۱۶-۳	۵۱۸	تثبیت همزیست با گیاهان غیرنیام‌دار	۱۳-۱۲
۶۱۵	چرخه‌های عناصر غذایی در خاک، گیاه و نیوار	۱۶-۴	۵۱۹	تثبیت غیرهمزیست نیتروژن	۱۳-۱۳
۶۱۹	باز یافت عناصر غذایی در کود دامی	۱۶-۵	۵۲۰	افزایش نیتروژن به خاک در ریزش‌های جوی	۱۳-۱۴
۶۲۳	ذخیره، بهبود و مدیریت کودهای دامی	۱۶-۶	۵۲۱	واکنش کودهای نیتروژن‌دار	۱۳-۱۵
۶۲۵	فراورده‌های جانبی صنعتی و شهری	۱۶-۷	۵۲۱	مدیریت علمی نیتروژن خاک در کشاورزی	۱۳-۱۶
۶۲۷	پساب‌ها و لجن فاضلاب	۱۶-۸	۵۲۳	اهمیت گوگرد	۱۳-۱۷
۶۳۰	استفاده عملی از منابع عناصر غذایی آلی	۱۶-۹	۵۲۴	منابع طبیعی گوگرد	۱۳-۱۸
۶۳۱	باز چرخ تلفیقی ضایعات	۱۶-۱۰	۵۲۹	چرخه‌ی گوگرد	۱۳-۱۹
۶۳۲	کودهای شیمیایی غیر آلی تجاری	۱۶-۱۱	۵۳۰	رفتار ترکیبات گوگردی در خاک‌ها	۱۳-۲۰
۶۳۸	مفهوم عامل محدودکننده رشد	۱۶-۱۲	۵۳۱	اکسایش و احیای گوگرد	۱۳-۲۱
۶۴۰	روش‌های مصرف کود	۱۶-۱۳	۵۳۳	نگهداری و تبادل گوگرد	۱۳-۲۲
۶۴۵	زمان مصرف کود	۱۶-۱۴	۵۳۴	گوگرد و حفظ حاصلخیزی خاک	۱۳-۲۳
۶۴۷	روش‌ها و ابزارهای تشخیص	۱۶-۱۵	۵۳۶	نتیجه‌گیری نهایی	۱۳-۲۴
۶۴۷	علایم و مشاهدات صحرایی	۱۶-۱۶	۵۳۶	سوالات برای مطالعه	
۶۴۷	تجزیه‌ی گیاه و آزمایش بافت گیاهی	۱۶-۱۷	۵۳۷	فسفر و پتاسیم خاک	۱۴
۶۵۰	آزمون خاک	۱۶-۱۸	۵۳۸	نقش فسفر در تغذیه گیاهی و حاصلخیزی خاک	۱۴-۱
۶۵۶	مدیریت عناصر غذایی در مناطق خاص	۱۶-۱۹	۵۳۹	اثرات فسفر بر کیفیت محیط زیست	۱۴-۲
۶۵۶	جنبه‌هایی گسترده‌تر از عملیات کوددادن	۱۶-۲۰	۵۴۵	چرخه‌ی فسفر	۱۴-۳
۶۶۰	نتیجه‌گیری نهایی	۱۶-۲۱	۵۴۸	فسفر آلی خاک	۱۴-۴
۶۶۱	سوالات برای مطالعه		۵۵۱	فسفر معدنی در خاک‌ها	۱۴-۵
			۵۵۴	قابلیت انحلال فسفر معدنی در خاک‌های اسیدی	۱۴-۶

۷۸۹	کیفیت خاک در مقیاس جهانی تحت تاثیر فعالیتهای انسانی	۶۶۳	فرسایش خاک و مهار آن	۱۷
۷۸۹	مفهوم کیفیت خاک / سلامت خاک	۶۶۳	اهمیت فرسایش خاک و تخریب اراضی	۱۷-۱
۷۹۳	توان تولید پایدار زیستی	۶۶۹	اثرات فرسایش تسریعی در محل اصلی و خارج از آن	۱۷-۲
۷۹۴	انفجار جمعیت	۶۷۳	سازوکار فرسایش آبی	۱۷-۳
۷۹۵	کشاورزی پرنهاده - انقلاب سبز	۶۷۶	روش های برآورد میزان فرسایش ناشی از آب	۱۷-۴
۷۹۶	اثرات کشاورزی پرنهاده بر روی کیفیت و یا سلامت خاک	۶۷۷	عوامل موثر در فرسایش شیبی و بین شیبی	۱۷-۵
۸۰۰	تمرکز تولید برنامه ریزی نشده	۶۸۷	عملیات خاک ورزی حفاظتی	۱۷-۶
۸۰۳	چشم انداز آینده	۶۹۳	موانع گیاهی	۱۷-۷
۸۰۶	نظام های کشاورزی پرنهاده تغییر یافته	۶۹۳	مهار کردن فرسایش آب کنده و رمیش	۱۷-۸
۸۰۸	بهبود نظام های کشاورزی با عملکرد پایین	۶۹۶	مهار کردن فرسایش تسریعی در اراضی مرتعی و جنگلی	۱۷-۹
۸۰۸	بهبود کیفیت در آفریقای جنوب صحرا	۶۹۹	مهار فرسایش و ته نشین در ساختمان سازی ها	۱۷-۱۰
۸۱۵	بهبود کیفیت خاک در آسیا و آمریکای لاتین	۷۰۴	فرسایش بادی : اهمیت و عوامل موثر در آن	۱۷-۱۱
۸۱۶	نتیجه گیری نهایی	۷۰۸	برآورد و مهار فرسایش بادی	۱۷-۱۲
۸۱۶	سوالات برای مطالعه	۷۱۳	طبقه بندی قابلیت اراضی به عنوان راهنمای حفاظت خاک	۱۷-۱۳
۸۱۷	فهرست معانی واژه های خاک شناسی	۷۱۵	پیشرفت در حفاظت خاک	۱۷-۱۴
۸۵۳	منابع مورد استفاده فصول مختلف	۷۱۸	نتیجه گیری نهایی	۱۷-۱۵
۸۷۳	ضمایم	۷۱۹	سوالات برای مطالعه	
۸۷۴	ضمیمه الف رده بندی خاک آمریکا. نقشه ی و علائم زیر رده ها	۷۲۱	خاک ها و آلودگی شیمیایی	۱۸
۸۷۶	ضمیمه ب نظام های طبقه بندی خاک کانادا و FAO	۷۲۱	مواد شیمیایی آلی سمی	۱۸-۱
۸۷۹	ضمیمه ج تبدیل واحدهای غیر SI به واحدهای SI	۷۲۳	انواع آفت کش ها	۱۸-۲
		۷۲۵	رفتار مواد شیمیایی آلی در خاک	۱۸-۳
		۷۳۲	اثرات آفت کش ها بر جانداران خاک	۱۸-۴
		۷۳۴	آسیب پذیری منطقه ای در آیشویی آفت کش ها	۱۸-۵
		۷۳۴	بهبود خاک های آلوده شده به وسیله ی مواد شیمیایی آلی	۱۸-۶
		۷۳۹	آلایش با مواد معدنی سمی	۱۸-۷
		۷۴۰	خطرات بالقوه مواد شیمیایی در لجن فاضلاب	۱۸-۸
		۷۴۴	واکنش های آلوده های معدنی در خاک ها	۱۸-۹
		۷۴۵	جلوگیری و حذف آلودگی عناصر شیمیایی معدنی	۱۸-۱۰
		۷۴۸	مراکز دفن زباله	۱۸-۱۱
		۷۵۲	خاک به عنوان محلی برای دفع ضایعات آلی	۱۸-۱۲
		۷۵۲	مواد پرتوزا در خاک	۱۸-۱۳
		۷۵۵	گاز رادون حاصل از خاک	۱۸-۱۴
		۷۵۶	نتیجه گیری نهایی	۱۸-۱۵
		۷۵۶	سوالات برای مطالعه	
		۷۵۷	اطلاعات جغرافیایی خاک ها	۱۹
		۷۵۷	تغییرات مکانی خاک ها در مزرعه	۱۹-۱
		۷۶۲	فنون و وسایل تهیه ی نقشه ی خاک ها	۱۹-۲
		۷۶۵	فناوری نوین در بررسی های خاک	۱۹-۳
		۷۶۸	ادوات سنجش از راه دور در بررسی های خاک شناسی	۱۹-۴
		۷۷۰	عکس های هوایی	۱۹-۵
		۷۷۴	تصاویر ماهواره ای	۱۹-۶
		۷۷۶	مطالعات شناسایی خاک	۱۹-۷
		۷۷۹	گزارشات شناسایی خاک بخش ها و استفاده از آن	۱۹-۸
		۷۸۳	نظام اطلاعات جغرافیایی	۱۹-۹
		۷۸۷	نتیجه گیری نهایی	۱۹-۱۰
		۷۸۷	سوالات برای مطالعه	

تقدیم به روان پاک و روح بزرگ برادرم

زنده یاد محمد رشید شاهویی

که بذر تحصیل علم و کسب کمال را در خانواده کاشت و

عمر کوتاهش مجال دیدار مزرعه ی سبزش را به او نداد.

یک دانش پایه از علم خاک‌شناسی برای مقابله با چالش‌های بسیاری در منابع طبیعی که بشر در قرن ۲۱ با آن مواجه خواهد بود یک پیش‌نیاز است، ما همچنین معتقدیم که مطالعه خاک‌ها هم مجذوب‌کننده و هم از نظر فکری قانع‌کننده می‌باشد. خاک یک نظام مطلوب بدست می‌دهد که در آن می‌توان کاربرد عملی اصول اساسی بیولوژی، شیمی، فیزیک را مشاهده کرد همچنین این اصول می‌توانند برای به حداقل رساندن تخریب و از بین رفتن خاک، یکی از مهمترین منابع طبیعی، مورد استفاده قرار گیرد.

در این چاپ جدید کتاب کلاسیک خاک‌شناسی، اولویت ما تشریح اصول اساسی علم خاک‌شناسی است طوری که برای دانشجویان در رشته‌های مختلف مطالعات مفید باشد. در سرتاسر کتاب، خاک به عنوان یک منبع طبیعی مورد تأکید قرار گرفته و بسیاری تعاملات بین خاک و سایر عناصر بوم‌سامان‌های جنگل، مرتع، کشاورزی، اراضی ماندابی و ساختمان‌سازی روشن گردیده است. ما درک می‌کنیم که برای بعضی از خوانندگان، این کتاب اولین برخورد رسمی با علم خاک‌شناسی خواهد بود، درحالی که برای دیگران بیانگر قدم اول در آموزش علم جامع خاک‌شناسی می‌باشد. بنابراین، خواستار نظرات اساتید و دانشجویان هستیم تا به ما کمک نماید که این کتاب را برای هر دو گروه خوانندگان به عنوان یک مقدمه جالب در دنیای جذاب علم خاک‌شناسی و مرجع قابل اعتماد و در سال‌های آتی خدمت نماید.

درحالی که مجبور بوده‌ایم در بعضی از بخش‌ها جزئیات را برای ایجاد مکان لازم برای سایر عناوین و اطلاعات کاهش دهیم مواظب بوده‌ایم که سطح دقت و کمال که چاپ‌های قبلی را ارزشمند ساخته بود همچنان حفظ نماییم. مطالب جدید در این چاپ، بخش‌های در کیفیت خاک، تخریب خاک، تناسب خاک برای میدان‌های زهکشی، اراضی ماندابی، خاکهای آبدار، خصوصیات مهندسی خاک، جلی‌سول، و سایر تغییرات در رده‌بندی خاک، ضرایب توزیع برای ترکیبات آلی در خاکها، ریزجانداران با مهندسی ژنتیک، عوامل مؤثر در کیفیت لاشیرگ، فن‌آوری کشاورزی دقیق و سایر عناوین مورد توجه امروزی در دانش خاک‌شناسی است. در عکس‌العمل به مقبولیت تابلوها، در چاپ یازدهم تابلوهای جدیدی اضافه کرده‌ایم که مثال‌ها و کاربردهای جالب توجه و یا جزئیات و محاسبات فنی لازم را ارائه می‌نمایند. همانند چاپ قبل کار هنری از دورنگ برای روشن‌شدن شکل‌ها استفاده کرده است که برای خواننده جذاب و آموزنده باشد، ما دریافته‌ایم که مشکلات موجود در فتوکپی کردن اشکال برای ایجاد طلق‌های شفاف می‌تواند با استفاده از کم‌رنگ‌ترین درجه فتوکپی برطرف گردد. برای سهولت استفاده از اشکال کتاب در کلاس درس یک دیسک فشرده موجود است که شامل نسخه الکترونیکی بیش از ۱۸۰ عدد از اشکال ترسیم‌شده و ۳۵ عدد از تابلوهای رنگی کتاب است بعضی از اشکال در دیسک فشرده به خاطر حفظ حقوق مؤلف هنوز نیامده است. ما به خاطر بسیاری از پیشنهادات سازنده که مرتباً به وسیله‌ی نامه یا مراجعه شخصی توسط دانشمندان خاک، معلمان و دانشجویان دریافت می‌داریم سپاسگزاریم. صمیمیت و همراهی ما با دانشجویان و دست‌اندرکاران علم خاک‌شناسی یک منبع با ارزش الهام‌بخش است. کتاب از پیشنهادات ارائه شده توسط بسیاری از همکاران بخصوص از دانشگاه‌های سراسر کشور که به پرسشنامه ما در چاپ یازدهم جواب داده‌اند بسیار بهره برده‌است، تحقیقات پرمایه و همکاری در تألیف که توسط Missy stine ، Ashley Gaede ، Rafiq islam ، Joel Gruver انجام گردیده مورد تقدیر فراوان می‌باشد.

ما دوست داریم که تشکرات خاص خود را به همکاران زیر که بخش‌های از کتاب را در جزئیات مورد تجدیدنظر قرار دارند و پیشنهادات ارزشمندی را برای بهبود کتاب ارائه داده‌اند، ابراز داریم.

Susan Davis, Bob Ahrens, Hari swaran, Paul Reich, Sharon Waltman (همگی از سازمان حفاظت منابع طبیعی آمریکا); Charles Tarnocai (از سازمان کشاورزی و غذای کانادا); Robert Hill, Bruce james, Kudjo Dzanter, Delvin Fanning; Martin Rabenhorst, Margaret Mayers Norton, (از دانشگاه مریلند); Duane wolf (دانشگاه آرکانزاس); J.Kenneth Torrence (دانشگاه کارلتون); Dan Ritcher (دانشگاه دوک); Daniel Hillel (دانشگاه ماساچوست); Jimmie Richardson (دانشگاه ایالتی داکوتای شمالی); Murray Milford (دانشگاه T&M نگزاس); Lyle Nilson (دانشگاه ایالتی می‌سی‌سی‌پی); Rattan Lal (دانشگاه ایالتی اروگون); Wendy Sue Harper, Fred Magdoff (دانشگاه ورمونت); Pedro Sanchez (مرکز بین‌المللی برای تحقیقات اگروفاستری); Darrel G.Schultze (دانشگاه پردو); Joyce Torio (جامعه شیمی آمریکا) و Mike Swift (برنامه حاصلخیزی و بیولوژی یونسکو) که تشکرات عمیق خود را از همسرانمان Marta و Trish برای حمایت‌های مستمر و صبر و تحمل آنها در طول ۱۸ ماه که در طی آن از هر لحظه وقت آزاد خود برای تجدیدنظر در کتاب بهره بردیم اعلام داریم.

N. C. Brady, R. R. Weil

پیش گفتار مترجم:

کتاب حاضر با عنوان سرشت و خصوصیات خاکها، چاپ اول، برگردان چاپ دوازدهم کتاب ۷۷ ساله ی Nature & properties of Soils، تالیف آقایان N. C. Brady و R. R. weil به فارسی می باشد که در طی ۸ سال تدریس آن در دانشکده کشاورزی کردستان برای اینجانب مشخص شد که جامع ترین کتاب خاک شناسی عمومی کلاسیک بوده که برای دانشجویان و کارشناسان رشته های کشاورزی و منابع طبیعی به طور خاص و برای دانشجویان و کارشناسان دیگر رشته های علوم وابسته به طور عام مفید می باشد.

فصول مختلف این کتاب با سرفصل دروس خاکشناسی عمومی، خاک شناسی تکمیلی رشته های خاک شناسی، زراعت، باغبانی، ماشین آلات، آبیاری، گیاه پزشکی، آبخیزداری و مرتع، جنگل، محیط زیست تطابق داشته و با برخورداری از تابلوها و اشکال تشریحی جالب توجه به درک مفاهیم اصلی خاک شناسی کمک شایان توجهی می نماید. چهار فصل پایانی و فهرست معانی می تواند مورد استفاده دانشجویان کارشناسی ارشد و دکترای خاک شناسی نیز باشد.

براینجانب واجب است که از همکاری معاونت محترم پژوهشی دانشگاه کردستان و اعضای هیئت علمی و پرسنل محترم آن برای فراهم کردن امکانات انتشار چاپ اول این کتاب تشکر نمایم. نظرات داوران محترم آقایان دکتر سید آهنگ کوثر و دکتر حمید سیادت برای ارزیابی صلاحیت کتاب جهت انتشار مورد تقدیر فراوان است. تلاش سترگ اعجاب برانگیز آقای دکتر کوثر در ویرایش علمی و ادبی کتاب که بیش از چهار ماه به طول انجامید، سبب رفع نواقص و کاستی ها گردید.

ارتقاء سطح علمی و کیفیت مطلوب کتاب مدیون این زحمات قابل ستایش می باشد. از همکاری آقای فردین رحیمی و سرکار خانم زهرا نصرتی در تایپ و تنظیم اشکال کتاب تشکر می نمایم. از مدیریت چاپخانه تعاونی ۴۲ سنندج و همچنین مدیریت محترم چاپخانه لیتوگرافی آبرنگ تهران که چاپ کتاب با همت والای آنها صورت گرفت سپاسگزارم.

از همسر فداکار و فرزندان عزیزم که فرصت برگردان این کتاب را در طول ۳ سال کار مستمر برای اینجانب فراهم نمودند تقدیر نموده و تشکر فراوان دارم.

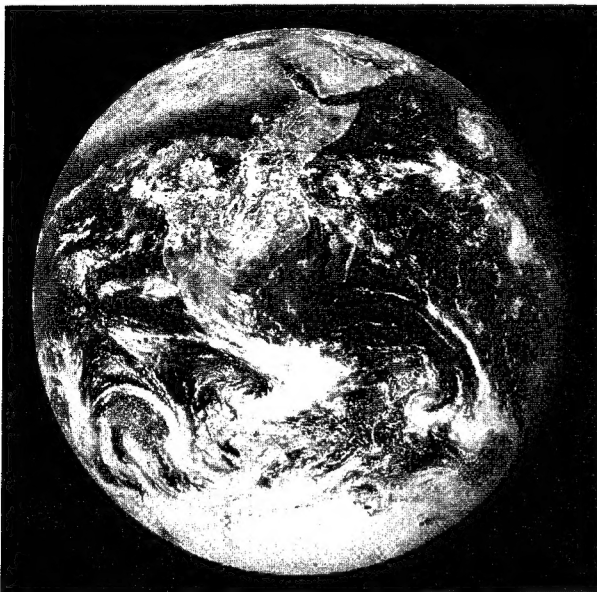
در پایان از همکاران محترم در سازمانهای اداری و اجرایی، اعضا محترم هیئت علمی دانشگاهها و مراکز تحقیقاتی و دانشجویان عزیز رشته های خاک شناسی و دیگر رشته های علوم طبیعی خواهشمندم نواقص و ایرادات موجود در کتاب را با پیشنهادات سازنده خود برای رفع آنها به اینجانب و معاونت پژوهشی دانشگاه کردستان اعلام فرمایند تا انشاء الله در برگردان چاپ های بعدی برای بالا بردن کیفیت کتاب مورد ملاحظه قرار گیرد.

در پایان فقط آنچه را که دوست داریم، حفظ می‌کنیم
و فقط آنچه را که دوست داریم، درک می‌کنیم، دوست داریم
و فقط آنچه را که دوست داریم، درک می‌کنیم
بابادیوم، حفاظت چی آفریقایی

فصل اول

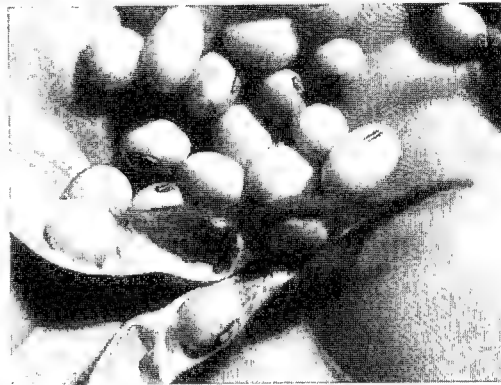
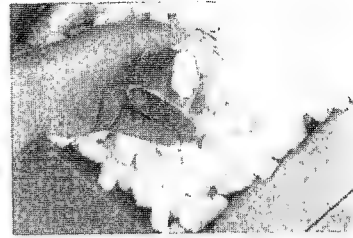
خاک‌ها در پیرامون ما

زمین خانه‌ی بی‌همتای ما در کائنات در مخاطره و بحران می‌باشد و از بین رفتن لایه ازن در نیوار فوقانی ما را در معرض تشعشع زیاده از حد اشعه‌ی ماوراءبنفش قرار می‌دهد. جنگل‌های حاره‌ای و مجموعه‌ی غیرقابل تصور گونه‌های گیاهی و جانوری آن با سرخ‌شدیدی در حال نابودی است. منابع آب زیرزمینی در بسیاری از مناطق آلوده شده و در مناطق دیگر تخلیه گردیده‌اند. در بخش‌هایی از جهان ظرفیت خاک‌ها برای تولید غذا کاهش یافته گرچه تعداد مردمان نیازمند غذا در حال افزایش می‌باشند. برای جمعیت موجود به تعادل درآوردن محیط به حال اول یک چالش بزرگ به شمار می‌آید (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱ سیاره‌ی ما از این نظر یگانه است که به‌وسیله‌ی آب و خاک حامی حیات پوشیده شده است. تلاش زیادی برای حفظ کیفیت هردو لازم است تا نسل بشر بتواند به شکوفایی خود ادامه دهد.

خاک‌ها برای بقا در روی کره‌ی زمین بسیار حیاتی می‌باشند از تخلیه‌ی ازن تا تخریب جنگل‌های بارانی، آلودگی آب بوم‌سازگان جهانی از راههای متعددی به‌وسیله‌ی فرایندهای درون خاک تحت تأثیر قرار می‌گیرد. کیفیت خاک تا حد زیادی سرشت بوم‌سامان گیاهی و ظرفیت اراضی را برای پشتیبانی حیات جانوری و جوامع انسانی مشخص می‌سازد. با افزایش شهری‌شدن جوامع انسانی مردم کمتری در ارتباط تنگاتنگ با خاک خواهند بود و افراد بینش خود را در اینکه در خیلی موارد بقا و خوشبختی آن‌ها وابسته به خاک است از دست می‌دهند. درجه‌ی وابستگی ما به خاک در آینده نه‌تنها کاهش نمی‌یابد بلکه افزایش نیز می‌یابد. خاک به فراهم تقریباً کل غذا و بسیاری از نیازهای پوشاک ما ادامه خواهد داد. در یک روز گرم آیا ترجیح می‌دهید که پیراهن کتانی بپوشید یا پیراهن پلی‌استر؟ به‌علاوه به‌نظر می‌رسد که زی‌توده‌ی حاصل از خاک با به پایان رسیدن منابع نفت در جهان به منبع عمده‌ی انرژی و سوخت کارخانجات تبدیل شود. علایم اولیه این شیوه را می‌توان در جوهرهای حاصل از لوبیا روغنی، پلاستیک‌های حاصل از نشاسته‌ی ذرت و سوخت‌های الکلی حاصل از چوب مشاهده کرد که اهمیت آن‌ها در بازار در حال افزایش است (شکل ۱-۲).



شکل ۱-۲ در آینده ما به‌طور روز افزونی به منبع خاک برای تولید منابع تجدید شونده که می‌تواند جانشین منابع رو به کاهش نفت خام شود متکی می‌باشیم. پلاستیک و جوهر برای نمونه می‌تواند از روغن سویا به جای مواد نفتی تهیه گردد. روغن سویا خوردنی بوده و دارای سمیت بسیار کمتری از نظر محیط می‌باشد. پلاستیک‌ها مانند فوم‌های بسته‌بندی حاصل از نشاسته‌ی ذرت به سهولت قابل تجزیه زیستی می‌باشد.

۱-۱ نقش خاک در بوم‌سامان‌ها

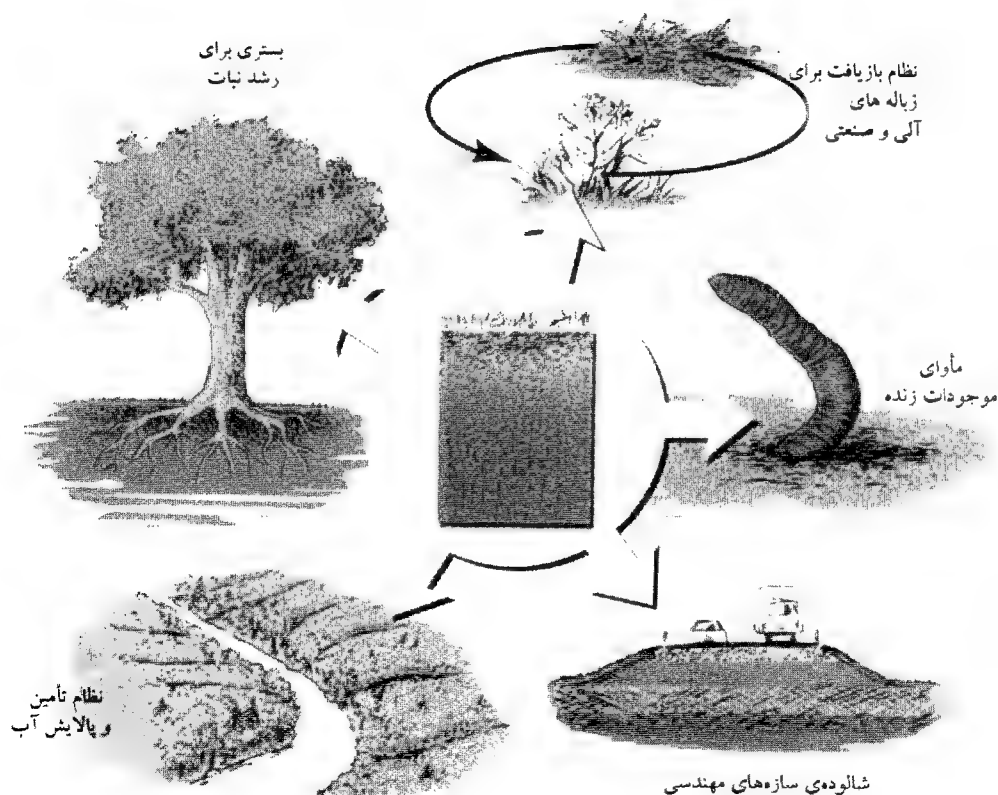
در هر بوم‌سامان چه باغچه‌ی منزل یا یک مزرعه، یک جنگل و یا یک حوزه‌ی آبخیز خاک‌ها دارای ۵ نقش کلیدی هستند (شکل ۱-۳).
اول خاک‌ها با تهیه‌ی بستر رشد گیاهان و عرضه‌ی عناصر غذایی که برای تمام اندامهای گیاهی لازم است رشد گیاهان عالی را تسهیل می‌کند. خصوصیات خاک معمولاً سرشت پوشش گیاهی موجود و همچنین به‌طور غیرمستقیم تعداد و انواع جانوران (از جمله انسان‌ها) را که پوشش گیاهی می‌تواند نگهداری کند مشخص می‌کند.

دوم خصوصیات خاک عامل اصلی در تعیین سرنوشت آب در نظام چرخه‌ی آب در طبیعت است، هدررفت آب، استفاده از آب، آلودگی آب و تصفیه‌ی آب همگی تحت تأثیر خاک است.

سوم خاک به‌عنوان سامانه بازچرخ طبیعت عمل می‌کند، در داخل خاک تولیدات زاید و اجساد مرده‌ی گیاهان، جانوران و انسان‌ها در چرخه‌ی هضم قرار گرفته و عناصر اصلی آن‌ها برای استفاده‌ی مجدد نسل دیگر حیات آماده می‌شود.

چهارم خاک مسکن و مأوای هزاران موجود زنده از پستانداران کوچک و خزندگان تا حشرات کوچک، تا سلول‌های میکروبی در تعداد و انواع غیرقابل تصور می‌باشد.

پنجم در بوم‌سامان دست ساخت انسان خاک نقش مهمی به‌عنوان شالوده و بستر سازه‌های مهندسی پیدا می‌کند. خاک نه‌تنها یک ماده‌ی ساختمانی مهم برای سدهای بتنی و ساخت آجرها (مواد پخته‌شده خاکی) است بلکه شالوده‌ای برای تمام جاده‌ها، فرودگاه‌ها و منازل می‌باشد.



شکل ۱-۳ بسیاری از کارکردهای خاک می تواند در ۵ نقش بوم زیست دسته بندی شود.

۱-۲ خاک به عنوان بستری برای رشد نبات

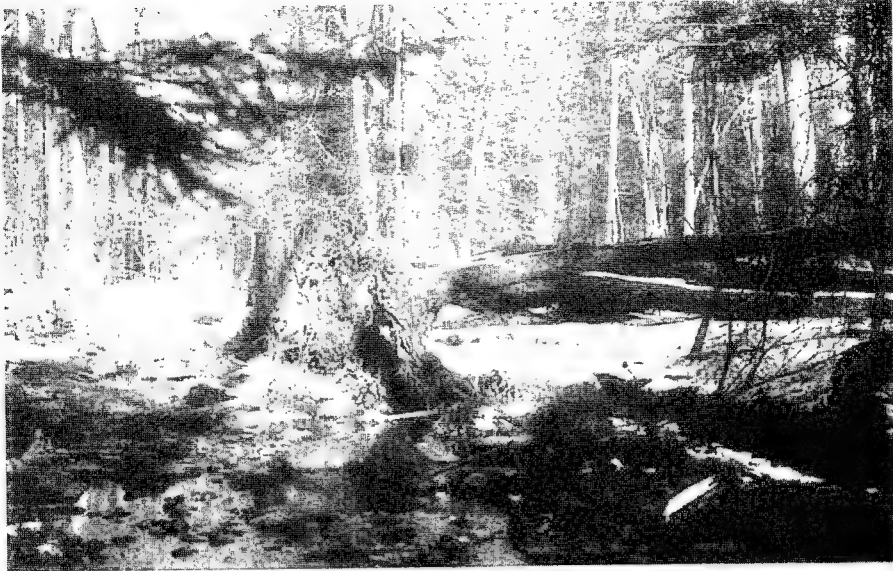
یک درخت و یا یک نبات ذرت درحال رشد را در نظر بگیرید. بخش فوقانی این گیاه در روی زمین ممکن است بسیار مشهود باشد اما بخش زیرزمینی آن که مشهود نیست ممکن است به بزرگی بخش بیرونی باشد. این گیاهان چه چیزی را از خاکی که ریشه ها در آن توسعه می یابند کسب می کنند. روشن است که توده ی خاک سبب حمایت فیزیکی نبات با دربرگرفتن نظام ریشه و جلوگیری از واژگون شدن نبات می شود. همان طور که در شکل ۴-۱ آمده است، گاهی درختان به وسیله باد و برف سنگین وقتی خاک اطراف ریشه کم عمق است و یا شرایط نامطلوب از توسعه ی ریشه ممانعت نموده است واژگون می شوند.

ریشه گیاهان وابسته به فرایند تنفس برای کسب انرژی می باشد. از آنجا که تنفس ریشه مانند تنفس انسان ها سبب تولید گاز کربنیک و مصرف O_2 خاک می شود یکی از نقش های عمده ی خاک تهویه می باشد که امکان خروج گاز کربنیک و ورود اکسیژن را به منطقه ریشه فراهم می کند. این تهویه از طریق شبکه ی خخل و فرج خاک امکان پذیر می شود.

نقش مهم دیگر منافذ خاک جذب آب باران و نگهداری آن برای استفاده ریشه گیاهان می باشد هرچه برگ درختان بیشتر در معرض نور آفتاب باشد نبات به جریان مداومی از آب برای خنک کردن، حمل عناصر غذایی، نگهداری شادابی و فتوسنتز نیازمند خواهد بود. از آنجا که گیاهان از آب به طور مستمر استفاده می کنند اما باران ها ندرتاً نازل می شوند، ظرفیت نگهداری محلول خاک برای بقای نبات، حیاتی می باشد. یک خاک عمیق ممکن است آب کافی برای بقای نبات را در مدت زمان طولانی بدون بارندگی فراهم کند.

خاک همانند متعادل نمودن رطوبت، نوسانات دما را نیز متعادل می کند. شما شاید در یک بعدازظهر تابستانی به حفر خاک باغچه ی منزل خود مبادرت نموده و ضمن احساس گرما در سطح خاک دریافت کنید که خاک چند سانتی متر پایین تر چقدر خنک تر می باشد. خصوصیات عایق سازی خاک بخش های پایین نظام ریشه را از نوسانات شدید گرم شدن و سرد شدن در سطح خاک معمول است مصون می دارد. برای مثل غیرعادی نخواهد بود که دمای سطح خاک لخت در وسط ظهر به ۳۵ تا ۴۰ درجه ی سانتی گراد برسد شرایطی که برای ریشه بسیاری از

نباتات کشنده است. درست چند سانتی‌متر پایین‌تر دما ممکن است به ۱۰ درجه سانتی‌گراد برسد که اجازه دهد ریشه وظایف خود را به طور معمول انجام دهد.



شکل ۴-۱ این خاک مرطوب کم‌عمق امکان رشد کافی ریشه‌ها را فراهم نکرده و نتوانسته از واژگون‌شدن درخت به دلیل سنگین‌شدن شاخه‌ها از برف در یک طوفان زمستانه ممانعت کند.

در خاک منابع زیادی از مواد بالقوه مضر برای نباتات وجود دارد. این مواد سمی ممکن است ناشی از فعالیت انسانی بوده یا ممکن است به‌وسیله‌ی ریشه‌ی گیاهان و یا ریزجانداران خاک و یا با واکنش‌های شیمیایی طبیعی ایجاد شده باشند تعدادی از مدیران خاک، جلوگیری از مسمومیت نبات را نقش مهم برای یک خاک خوب می‌دانند که از طریق تهویه گازها یا تجزیه‌ی و یا جذب سم‌های آلی و یا کاهش موجودات تولیدکننده سم حاصل خواهد شد.

در عین حال باید دانست که بعضی از زیواچه‌ها در داخل خاک ترکیبات آلی محرک رشد تولید می‌کنند مقادیر اندک این مواد در صورت جذب به‌وسیله‌ی گیاهان سبب ارتقای قدرت نبات می‌شود.

خاک عناصر غذایی، آلی و معدنی را به‌صورت یون‌های محلول برای نباتات فراهم می‌کند این عناصر معدنی شامل یون‌های فلزی مانند پتاسیم، کلسیم، آهن، مس و همچنین عناصر غیرفلزی مانند ازن، گوگرد، فسفر و بر می‌باشند (جدول ۱-۱).

با خوردن گیاهان، انسان و دیگر حیوانات معمولاً کانی‌های موردنیاز خود را (از جمله چند عناصر که نبات جذب کرده اما به نظر می‌رسد خود مصرف نمی‌کند) به‌طور غیرمستقیم از خاک دریافت می‌دارند (جدول تناوبی در پیوست ج ۲). در بعضی شرایط حیوانات یون نیاز خود را برای کانی‌ها با خوردن و یا آشامیدن شیرابه‌ی از خاک ارضا می‌کنند (شکل ۶-۱). نبات این عناصر را از محلول خاک جذب کرده و آنرا در هزاران ترکیب آلی مختلف که اندامهای گیاهی را می‌سازد شرکت می‌دهد. یکی از نقش‌های اساسی خاک در تضمین رشد گیاهی، عرضه‌ی مداوم عناصر معدنی محلول در مقادیر نسبی و مقادیر کل مناسب برای رشد نبات می‌باشد.

از ۹۲ عنصر شیمیایی که در طبیعت یافت می‌شوند فقط ۱۸ عنصر در جدول ۱-۱ مشخص شده است که برای رشد اساسی بوده و گیاهان بدون آن‌ها قادر به رشد و تکمیل چرخه‌ی خود نمی‌باشند. همانند پیغامی که ممکن است در یک تابلو بر روی در یک کافه نوشته شده باشد جمله‌ی زیر به شما کمک می‌کند که این ۱۱ عنصر لازم برای رشد را به خاطر داشته باشید. در این پیام اکثر عناصر شیمیایی مشخص هستند اما برای مس (Cu) و روی (Zn) ممکن است نیاز به قدری تأمل باشد.

C.B. HopkiNs Café.Co Closed Monday Morning and Night See You Zoon, the Mg

عناصر اسامی که به‌وسیله‌ی نبات در مقادیر نسبتاً زیاد مصرف می‌شوند عناصر پرمصرف و یا ماکروالمننت^۱ و عناصری که در مقادیر اندک مصرف می‌شوند عناصر کم‌مصرف و یا میکروالمننت^۲ نامیده می‌شوند.

^۱ - Macroelements

^۲ - Microelements

گرچه نبات ممکن است مقادیر جزئی از ترکیبات آلی خاک را مورد استفاده قرار دهد اما جذب این مواد مطمئناً برای رشد معمول لازم نمی‌باشد. مواد آلی حاصل از سوخت‌وساز گیاهی، آنزیم‌ها و ترکیبات ساختمانی که ماده‌ی خشک گیاهی را تشکیل می‌دهد عمدتاً از کربن، هیدروژن و اکسیژن تشکیل شده‌اند که گیاهان از طریق فتوسنتز از آب و هوا می‌گیرند و از خاک جذب نمی‌کنند. این درست است که گیاهان می‌توانند در محلول‌های غذایی بدون خاک کشت گردند. (هیدروپونیک) اما نقش‌های حمایتی خاک برای گیاهان باید به صورت مهندسی در نظام اعمال گردیده و با صرف هزینه، زمان، کوشش، مدیریت بالایی حفظ گردد. هرچند محصولات زیست بوم طبیعی همیشه متکی به استفاده از میلیون‌ها کیلومتر خاک‌های حاصلخیز است.



شکل ۵-۱ خانواده‌ای از فیل‌های آفریقایی یک سایه‌ی خنک را در زیر تاج پوشش درخت عظیم آکاسیا در این ساوانای آفریقایی شرقی پیدا کرده‌اند. عکس در اواسط یک دوره‌ی خنک طولانی گرفته شده و باران برای مدت ۵ ماه نازل نشده است. ریشه درختان هنوز از آب حاصل از بارندگی فصل قبل که در خاک به ژرفای چند متر ذخیره شده است استفاده می‌کنند. علف‌های کم‌رنگ دارای ریشه کم‌عمق بوده که به پذیر نشسته‌اند و یا خشک شده و یا در حالت خواب و توقف رشد قرار دارند.



شکل ۶-۱ - یک بز کوهی که با یک نشست نمک مواجه می‌شود عناصر مورد نیاز خود را مستقیماً از خاک جذب می‌کند، حیوانات معمولاً کانی‌های لازم برای جیره‌ی غذایی خود را به طور مستقیم از خاک با خوردن گیاهان به دست می‌آورند.

جدول ۱-۱ عنصر اساسی برای رشد نباتات و منبع آن‌ها *

اشکال شیمیایی که معمولاً به وسیله‌ی نبات جذب می‌شود در داخل پراتز گذاشته شده و علائم شیمیایی با حرف درشت نشان داده شده است.

عناصر کم مصرف		عناصر پر مصرف	
مورد استفاده در مقادیر نسبتاً اندک با کمتر از ۰/۱ درصد وزن خشک نبات		مورد استفاده در مقادیر نسبتاً زیاد با بیشتر از ۰/۱ درصد وزن خشک نبات	
جذب عمدتاً از خاک		جذب عمدتاً از هوا و آب	
Fe ²⁺	آهن	ازت	کربن (C) CO ₂
Mn ²⁺	منگنز	فسفر	هیدروژن (H) H ₂ O
HBo ₃	بر	پتاسیم	اکسیژن (O) H ₂ O
MoO ₄ ²⁻	مولیبدون	کلسیم	
Cu ²⁺	مس	منیزیم	
Zn ²⁺	روی	سولفات	
Ni ²⁺	نیکل		
Cl ⁻	کلر		
Co ²⁺	کبالت		

* بسیاری از عناصر دیگر به وسیله‌ی گیاه از خاک جذب می‌شوند اما برای رشد نبات لازم نمی باشند. بعضی از این عناصر (سدیم سیلیس، ید، فلور، باریم، استرنسیم) رشد بعضی از گیاهان را افزایش می‌دهند اما در مقیاس جهانی برای رشد همانند ۱۸ عنصر جدول مهم به نظر نمی‌رسد.

۳-۱ تنظیم کننده عرضه‌ی آب

توجه بسیار زیادی در مورد کیفیت و کمیت آب در رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و آبخوان‌های زیرزمینی وجود دارد. حکومت‌ها و شهروندان به دنبال ریشه‌یابی آلودگی تهدیدکننده ارزش آبهای ما برای ماهی‌گیری، شنا و آشامیدن می‌باشد. برای پیشرفت لازم در بهبود کیفیت آب باید دریابیم که تقریباً هر قطره آب در رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، مصب‌ها و آبخوان‌ها یا از سطح خاک و یا از درون خاک عبور نموده است.^۱ برای مثال فرض کنید باران شدیدی بر روی تپه‌های اطراف رودخانه در شکل ۷-۱ ببارد. اگر خاک امکان نفوذ آب را به داخل خود بدهد مقداری از آب جذب گردیده و به وسیله‌ی درختان و نباتات دیگر مصرف می‌شود و درحالی که مقداری دیگر به آهستگی از طریق لایه‌های خاک به پایین و به داخل آب زیرزمینی نشت نموده و نهایتاً به داخل رودخانه‌ها در طول ماهها، سالها از طریق جریان پایه وارد می‌شوند. در صورت آلوده بودن، آب در فرایند نشت از لایه‌ها فوقانی خاک تصفیه شده و به وسیله‌ی فرایندهای خاک که بسیاری از این ناخالصی‌ها را جدا کرده و جانداران موجد بیماری را از بین می‌برد تمیز می‌گردد.

برعکس شرایط فوق اگر خاک کم عمق بوده و یا غیرقابل نفوذ باشد بخش اعظم باران به داخل خاک نفوذ نکرده و به صورت روان آب از تپه‌ها در سطح خاک جاری می‌شوند و با بالا رفتن سرعت آن سبب کنده شدن خاک سطحی شده و تمام آن‌ها را به سرعت به داخل رودخانه‌ها وارد می‌سازد. نتیجه‌ی نهایی یک سیل مخرب با آب گل آلود است. سرشت و مدیریت خاک‌ها در حوزه‌ی آبخیز تأثیر عمده‌ای بر خلوص و میزان آبی که در نظام آبی وارد می‌شود خواهد داشت.

۴-۱ بازچرخ کننده‌ی مواد خام

جهان در صورت نبود عملیات بازچرخ مواد به وسیله‌ی خاک چگونه خواهد بود. بدون استفاده‌ی مجدد از عناصر غذایی، گیاهان و حیوانات مدتها قبل از تغذیه باز می‌ماندند و جهان احتمالاً از لایه‌هایی با صدها متر ارتفاع باقی مانده نبات و جسد و فضولات حیوانی انباشته می‌شد. بازچرخ بنابراین باید به عنوان یک فرایند حیاتی در بوم سامان‌ها، چه جنگل، چه مزارع و شهرها تلقی گردد. سامانه خاک یک نقش محوری در چرخه‌های شیمی زمین ایفا می‌کند. خاک‌ها دارای ظرفیت هضم مقادیر زیاد فضولات آلی و برگردان آن به هوموس مفید.

۱- این مقادیر نسبتاً اندک بارش را که مستقیماً بر روی سطح منابع آب فرود می‌آید در بر نمی‌گیرد.

تبدیل عناصر غذایی معدنی در فضولات به اشکال قابل استفاده برای گیاهان و جانوران و برگرداندن کربن به نیوار به صورت گاز کربنیک می باشد که بعداً به صورت بخشی از بدن موجودات زنده از طریق فتوسنتز در خواهد آمد. بعضی از خاک ها می توانند مقدار زیادی از کربن را به صورت ماده آلی در خود ذخیره کنند، بنابراین دارای اثرات مهمی بر تغییرات کربن زمین تحت عنوان اثر گلخانه ای^۱ می باشند که بسیار مورد بحث قرار گرفته است. (بخش های ۲-۱۲ و ۱-۱۲ را مشاهده کنید).

۵-۱ خاک مأوای موجودات زنده

وقتی صحبت از حفظ بوم سامان می کنیم اکثر مردم یک جنگل قدیمی، حیات وحش فراوان و یا احتمالاً یک مصب مانند خلیج چزایپسک^۲ با صدفهای خوراکی و ماهی گیری را در نظر تجسم می کنند (شاید شما وقتی این کتاب را بخوانید، وقتی کسی از بوم سامان صحبت می کند شما یک مشت پر از خاک را تجسم کنید). خاک تنها توده ای از سنگ خرد شده و بقایای مرده نیست. یک مشت خاک ممکن است مأوای میلیون ها موجود زنده باشد که به هزاران گونه تعلق دارند. در این مقدار اندک خاک احتمالاً موجودات شکارچی، شکار، مصرف کنندگان، تولید کنندگان و انگل ها وجود داشته باشند (شکل ۸-۱).

چگونه امکان دارد که این همه موجودات متنوع در این محیط کوچک زندگی کرده و بر همدیگر اثرات متقابل داشته باشند؟ یک توضیح این است که مأوا و محل سکونت های بسیار زیادی در یک خاک ظاهراً یکنواخت وجود دارد، بعضی از منافذ خاک از آب مملو بوده و در آن موجوداتی مانند کرم های حلقوی، دیاتومه ها و مژه داران حلقوی شناور می باشند. حشرات باریک و عنکبوت های کوچک در منافذ درشت تر که از هوای مرطوب مملو می باشند در حال خزیدن می باشند. مناطق خیلی کوچک با تهویه خوب ممکن است فقط چند میلیمتر از مناطق دارای شرایط تهویه ضعیف فاصله داشته باشند. مناطق مختلفی ممکن است از بقایای پوسیده آلی غنی شده باشند. بعضی مناطق ممکن است به شدت اسیدی و بعضی مناطق بیشتر بازی باشند. و دما نیز ممکن است دارای تغییرات شدید باشد.

در خاک های مناطق مختلف جهان پنهان از چشمان ما جوامع مختلف موجودات زنده بسر می برند که همانند موجودات ساکن ساوانا، جنگل ها و اقیانوس های جهان پیچیده و ذاتاً باارزش می باشند. خاک ها پناهگاه بیشترین تنوع زیستی کربن زمین می باشند. خاک ها همانند هوا و آب یکی از اجزای مهم زیست محیط می باشند و کیفیت خاک همانند کیفیت آب و هوا به تدریج جای خود را در مباحث حفظ محیط زیست پیدا می کند.

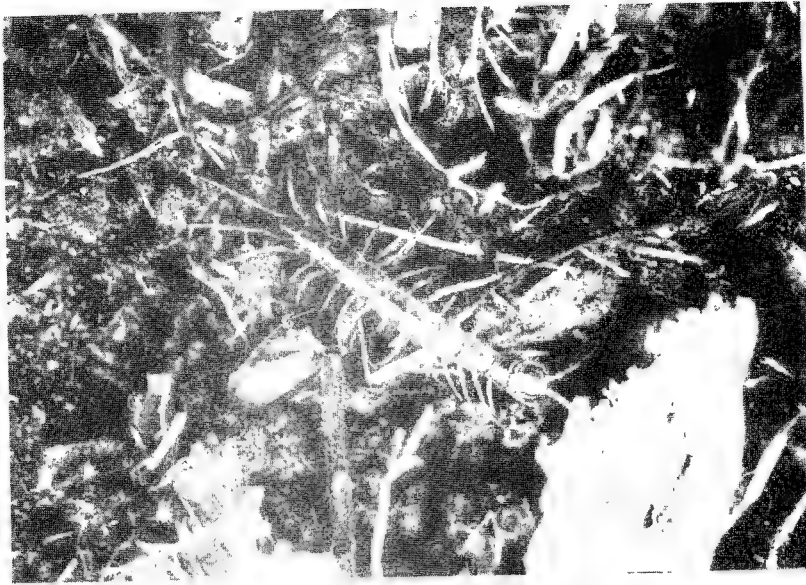


شکل ۷-۱ شرایط این خاک که سطح دامنه تپه ها را در کوه های بلوریج^۳ در ویرجینیای غربی و مرینلند پوشانده است در کیفیت و کمیت رودخانه پوتامیک که از واشنگتن دی سی تا ۱۰۰ کیلومتر پایین تر در جریان است بسیار مؤثر می باشد.

^۱ - Green House Effect

^۲ - Chesapeake Bay

^۳ - Blue Ridge



شکل ۸-۱ خاک مأوای موجودات زنده‌ی متنوع از نسبتاً بزرگ تا خیلی کوچک می‌باشد. در شکل یک هزار پای شکارچی در حال روبه‌روشدن با یک خرخاکی خرده ریزخوار گیاهی می‌باشد.

۶-۱ خاک به عنوان مصالح مهندسی

توافیرما^۱ (زمین سخت) معمولاً همان تجسم ما از خاک به عنوان جسم سخت و سفت می‌باشد. شالوده‌ی خوبی که بر روی آن می‌توان انواع جاده‌ها و سازه‌ها را ایجاد کرد. در واقع بیشتر سازه‌ها بر روی خاک جای گرفته‌اند. بسیاری از پروژه‌های ساختمان سازی نیازمند حفاری در داخل خاک می‌باشند. متأسفانه، همان‌طور که می‌توان در شکل ۹-۱ مشاهده کرد، بعضی از خاک‌ها دارای پایداری خاک‌های دیگر نمی‌باشند. ایجاد ساختمان‌های قابل اعتماد بر روی خاک با استفاده از مصالح خاکی نیازمند داشتن دانش لازم از خصوصیات متنوع خاک می‌باشد که در آخر این فصل بیان می‌شود، طراحی بستر جاده‌ها و یا پی ساختمان‌ها که در یک محل بر روی یک نوع خاک به‌خوبی عمل می‌کند در محل دیگر با خاک‌های متفاوت ممکن است ناکافی باشد.



شکل ۹-۱ دانش بهتر در مورد خاک‌هایی که این جاده بر روی آن ساخته شده است شاید به مهندس آن، امکان ارائه‌ی یک طرح پایدارتر را می‌داد که از ایجاد این چنین موقعیت پرهزینه و خطرناک جلوگیری به‌عمل می‌آمد.

^۱ - Terrafirma (Solid ground)

کارکردن با خاک طبیعی و یا مصالح حفاری شده همانند کارکردن بر روی بتن و یا فولاد نمی باشد. خصوصیات مانده مقاومت فشاری، تراکم پذیری، مقاومت برشی و یا پایداری بسیار متغیر بوده و برآورد آن برای خاکها بسیار مشکل تر از مصالح ساختمانی ساخته شده می باشد. فصل چهار مقدمه ای را در مورد بعضی از خصوصیات مهندسی خاکها ارائه می دهد. بسیاری از خصوصیات فیزیکی مورد بحث مستقیماً در استفاده ی مهندسی از خاکها کاربرد دارد. برای مثال فصل ۸ به خصوصیات انبساط پذیری انواع مشخص رس ها در خاکها می پردازد. مهندس باید آگاه باشد که خاکهای دارای رس قابل انبساط، هنگام مرطوب شدن انبساط یافته و دارای نیروی کافی برای ترک برداشتن پی ها و بالآمدن پیاده روها می باشد. بسیاری از اطلاعات در مورد خصوصیات خاک و طبقه بندی خاک که در فصل های بعد مورد بحث قرار خواهد گرفت برای افرادی که در برنامه ریزی کاربری اراضی از جمله در حفاری و ساختمان شرکت دارند دارای ارزش بسیار زیاد می باشد.

۷-۱ خاک به عنوان یک جسم طبیعی

شما ممکن است توجه کرده باشید که این کتاب بعضی مواقع به (خاک)^۱، بعضی مواقع به (یک خاک)^۲ و بعضی مواقع به (خاکها)^۳ اشاره می کند. اغلب گفته می شود که خاک همانند یک پوسته که پرتقال را می پوشاند اراضی را پوشش داده است. درحالی که پوسته تقریباً در اطراف پرتقال یکنواخت است، خاکها از محل به محل در سطح زمین متفاوت می باشند. در واقع خاک عبارتست از مجموعه ای از اجسام انفرادی است، ارتباط یکی از این اجسام انفرادی یعنی یک خاک با خاک همانند یک درخت انفرادی به پوشش گیاهی سطح زمین است. درست مانند اینکه کسی افرا ی شکری^۴، بلوط، شوکران^۵ و بسیاری از گونه های درختی را در یک جنگل خاص پیدا کند. همچنین کسی ممکن است خاک لوم رسی کریستانا^۶، لوم شنی سانی ساید^۷ و لوم سیلتی الکتون^۸ و سایر خاکها را در یک چشم انداز پیدا کند. یک خاک جسم طبیعی سه بعدی است، که همانند یک کوه، یک دریاچه و یا یک دره می باشد. با انداختن یک سطل به داخل یک دریاچه شما ممکن است نمونه ای از آب آن را به دست آورید. به همین ترتیب با حفاری و یا ایجاد یک حفرة به وسیله ی مته در خاک شما ممکن است نمونه ای از مواد خاکی را به دست آورید بنابراین شما می توانید یک نمونه از خاک و یا آب را به یک آزمایشگاه برده و محتویات آنرا مورد تجزیه قرار دهید اما برای مطالعه ی یک خاک یا دریاچه باید در بیرون و در مزرعه یا دریاچه اقدام کنید.

در اکثر جاها سنگ ظاهر شده در سطح زمین خرد و تجزیه گردیده و یک لایه از مواد ناپیوسته را بر روی سنگ سخت غیرهوا زده ایجاد می کند این لایه تراکم رگولیت^۹ نام دارد. ضخامت آن عملاً از صفر در بعضی جاها (صخره لخت بیرون زده) تا ده ها متر در جاهای دیگر متغیر است. مواد رگولیتی در بسیاری از موارد در کیلومترها فاصله از محل تشکیل اولیه خود حمل گردیده، سپس بر روی سنگ مادر فعلی جای گرفته است. بنابراین، تمام و یا قسمتی از رگولیت ممکن است با سنگی که هم اکنون در زیر آن قرار گرفته است ارتباط داشته و یا نداشته باشد. وقتی سنگ زیرین در همان محل چنان دچار هوازدگی شده و نرم گردیده باشد که بتوان در آن با بیل حفاری نمود. واژه ساپرولیت^{۱۰} به آن اطلاق می شود. تابلو (۱۱) را مشاهده کنید.

موجودات زنده مانند باکتریها، قارچها و ریشه ی گیاهان از طریق اثرات زیست شیمی و فیزیکی سبب تغییر بخش های فوقانی در بسیاری از موارد در تمام عمق رگولیت شده اند. در این جا در محل تلاقی کوهی سنگی (لیتوسفر)، کوهی هوا (نیسوار)، کوهی آب (هیدروسفر) و موجودات زنده (بیوسفر) خاک متولد می شود. دگرگون شدن سنگ معدنی و خرده سنگها به یک خاک زنده یکی از جلوه های بسیار جالب طبیعت می باشد. هر چند خاک و رگولیت، معمولاً پنهان از دید هر روزی ما، می توانند در بریدگی جاده ها و سایر حفاری ها مورد مشاهده قرار گیرند (شکل ۱۰-۱).

یک خاک حاصل فرایندهای تخریبی و تکوینی (بازساخت) می باشد. هوازدگی سنگ مادر تجزیه ی میکروبی پس مانده های گیاهی مثالهایی از فرایندهای تخریبی بوده درحالی که ایجاد کانی های جدید مانند رس های به خصوص و ترکیبات پایدار آلی مانند همولس مثالهایی

¹ - The Soil

² - a soil

³ - Soils

⁴ - Sugar Maple

⁵ - Hemlocks

⁶ - Christiana Clay Loam

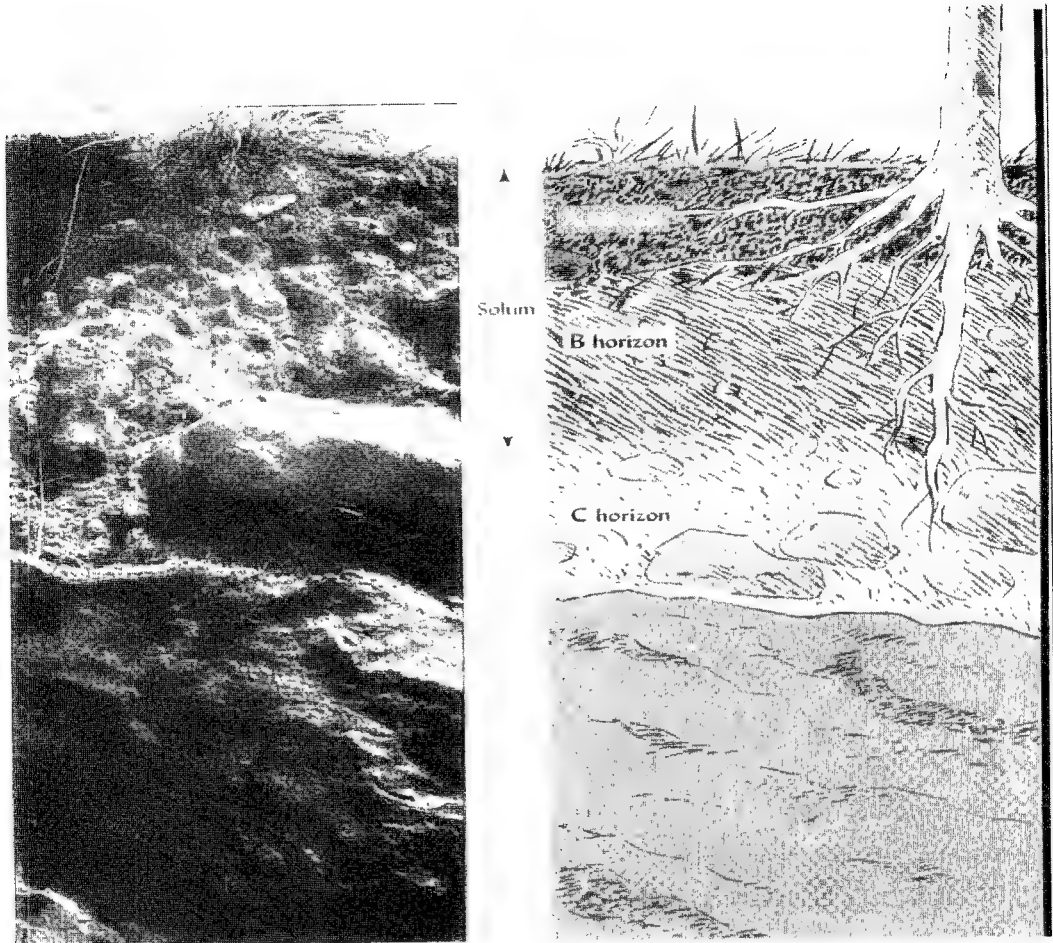
⁷ - Sunnyside Sandy Loams

⁸ - Elkton Silt Loams

⁹ - Regolith

¹⁰ - Saprolite

از فرایندهای بازساخت می‌باشند. شاید نتیجه بسیار برجسته‌ی فرایندهای بازساخت تشکیل لایه‌های افقی مشهور به افق‌های خاک باشد. ایجاد این افق‌ها در رگولیت فوقانی یک خاصیت انحصاری خاک است که آنرا از مواد عمیق‌تر رگولیت جدا می‌سازد.



شکل ۱۰-۱ موقعیت‌های نسبی رگولیت، خاک و سنگ بستر زیرین. توجه داشته باشید که خاک بخشی از رگولیت است و افق‌های A و B بخشی از سولوم خاک (در لاتین کلمه سولوم به معنی خاک یا زمین است) می‌باشند. افق C بخشی از رگولیت است که در زیر سولوم قرار گرفته اما بخش فوقانی آن ممکن است به آهستگی تبدیل به خاک شود. در بعضی مواقع رگولیت چنان نازک است که کاملاً تبدیل به خاک شده است. در این حالت خاک مستقیماً بر روی سنگ بستر قرار گرفته است.

۸-۱ خاک‌رخ و لایه‌های آن (افق‌ها)

دانشمندان خاک‌شناس معمولاً چاله‌ای بزرگ در خاک حفر می‌کنند که گودال خاک^۲ نامیده می‌شود، گودال با داشتن چندین متر عمق و حدود یک متر عرض برای آشکارشدن افق‌های خاک جهت مطالعه مورد استفاده قرار می‌گیرد. یک نیمرخ قائم که مجموعه‌ای از این افق‌ها را در دیواره‌ی این گودال در معرض دید قرار می‌دهد. خاک‌رخ^۳ نام دارد. بریدگی تازه کنار جاده‌ها و دیگر حفاری‌ها می‌توانند نیمرخ خاک را آشکار کرده و به عنوان پنجره‌ای به روی خاک باز گردند. در حفاریهایی که برای مدت زیادی باقی مانده‌اند افق‌ها در اثر پوشیده شدن به وسیله‌ی مواد افق‌های فوقانی که به وسیله‌ی باران شستشو یافته‌اند از انظار پنهان می‌مانند. به این دلیل افق‌ها در صورت برداشت لایه‌ای از خاک، با ضخامت چند سانتی‌متر از نیمرخ خاک بهتر قابل مشاهده خواهند بود. با مشاهده‌ی چگونگی تغییرات خاک‌ها از محل به محل در بریدگی کنار جاده‌ها چهره‌ی جالب‌توجه‌تری به مسافرت‌ها خواهد داد. هنگامی که آموزش تفسیر افق‌های خاک را فرا گیرید (فصل دوم را

^۱ - Solum

^۲ - Soil Pit

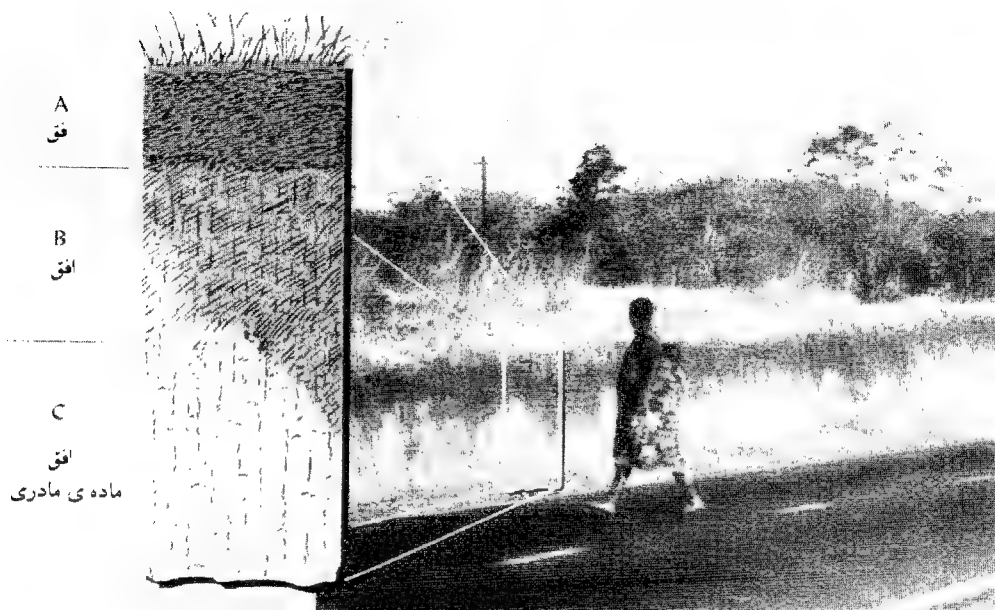
^۳ - Soil Profile

مشاهده کنید). افق‌های خاک شما را از توان بالقوه‌ی خاک‌ها در کاربریها مطلع خواهد کرد. همین‌طور اطلاعات بسیار زیادی درباره‌ی محیط زیست و تاریخ یک منطقه به شما خواهد گفت. برای مثال خاک‌های ایجاد شده در یک منطقه‌ی خشک دارای افق‌های بسیار متفاوتی با خاک‌های تشکیل شده در مناطق مرطوب خواهد داشت.

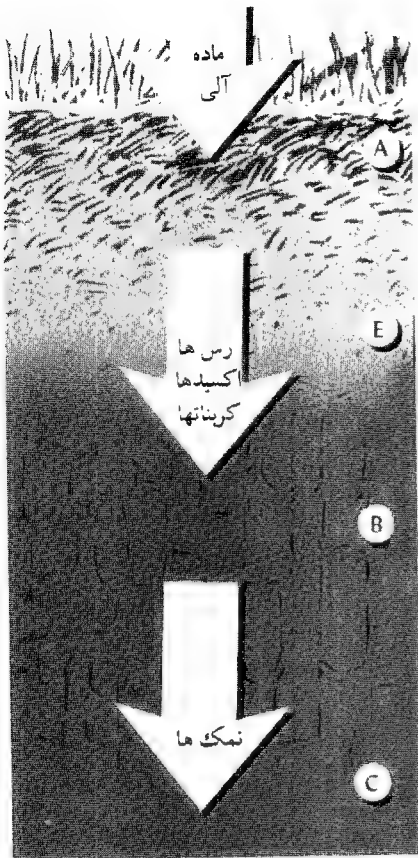
افق‌های یک خاک ممکن است از نظر ضخامت متفاوت بوده و مرزهای تقریباً ناهمواری داشته باشند اما اغلب این افق‌ها به موازات سطح خاک می‌باشند. (شکل ۱۱-۱). این امتداد افقی لایه‌ها از هنگام افتراق رگولیت به افق‌های مجزا قابل انتظار بوده و تا حد زیادی حاصل تأثیرات هوا، آب، تشعشع خورشیدی و مواد گیاهی حاصل در فصل مشترک خاک و نیوار می‌باشد. از آنجاکه هوازدگی رگولیت ابتدا در سطح آن صورت گرفته و به‌طرف پایین ادامه می‌یابد، لایه‌های بالایی دچار بیشترین دگرگونی می‌باشند درحالی‌که لایه‌های پایین‌تر بسیار شبیه رگولیت اولیه می‌باشند. که به آن ماده‌ی مادری خاک گفته می‌شود. در محل‌هایی که رگولیت اولیه در ترکیب تقریباً یکنواخت است، مواد زیر خاک ممکن است دارای ترکیب مشابهی با مواد مادری که خاک از آن تشکیل شده است باشند. در سایر موارد مواد رگولیتی در فاصله‌ی زیادی به‌وسیله‌ی باد، آب و یا یخچال‌ها حمل شده و در بالای مواد غیرمشابه جایگزین شده است. در این موارد مواد رگولیتی در پایین خاک ممکن است کاملاً با لایه‌های فوقانی رگولیت که خاک از آن تشکیل گردیده متفاوت باشد.

ماده‌ی آلی حاصل از برگ‌ها و ریشه‌های تجزیه‌شده‌ی گیاهان تمایل دارند که در بالاترین افق‌های خاک‌رخ تجمع یابند و افق‌هایی با رنگ تیره‌تری در مقایسه با افق‌های پایین ایجاد کنند. همچنین وقتی هوازدگی در لایه‌های فوقانی بسیار شدید باشد در بسیاری از خاک‌ها این لایه‌ها مقداری از رس و دیگر محصولات هوازدگی خود را از طریق شستشوی داخلی به افق‌های پایین از دست می‌دهند. این افق‌های غنی از مواد آلی در نزدیکی سطح، افق A نامیده می‌شوند. در بعضی خاک‌ها افق‌های شدیداً هوازدیده شستشویافته که فاقد تجمع مواد آلی است در بخش‌های فوقانی خاک‌رخ اغلب درست زیر افق A قرار دارند به این افق‌ها افق‌های E نامگذاری شده‌اند (شکل ۱۲-۱).

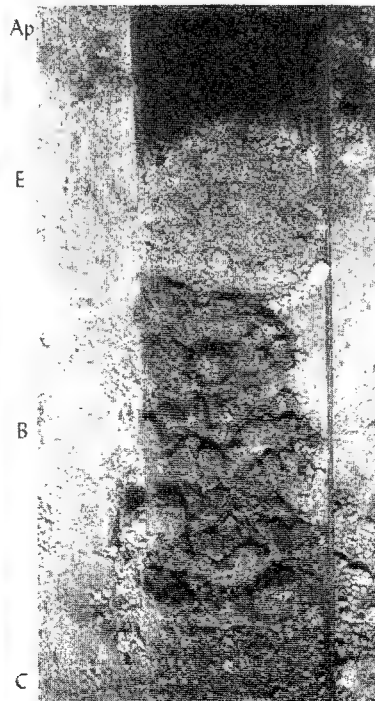
لایه‌های زیرین افق‌های A و O دارای ماده‌ی آلی نسبتاً کمتری در مقایسه با افق‌های نزدیک سطحی می‌باشند. مقادیر مختلفی از رس‌های سیلیکاتی، اکسیدهای آهن و آلومینوم، گچ و کربنات کلسیم ممکن است در افق‌های زیرین تجمع یابند. مواد تجمع یافته ممکن است از افق‌های بالا به پایین شسته شده و یا ممکن است طی فرایند هوازدگی در جا تشکیل شوند. این لایه‌های زیرین افق‌های B نامیده می‌شوند (شکل ۱۲-۱).



شکل ۱۱-۱ این بریدگی کنار جاده در آفریقای مرکزی بیانگر لایه‌های خاک و یا افق‌ها می‌باشد که موازی سطح الارض می‌باشند. روی هم این افق‌های خاک خاک‌رخ را نشان می‌دهد که در شکل بزرگ شده مشاهده می‌گردد. افق‌های بالایی، افق‌های A نامگذاری شده است. این افق معمولاً دارای ماده‌ی آلی بیشتر و رنگ تیره‌تر از افق‌های پایین می‌باشد. بعضی از مواد مانند اکسیدهای آهن و رس‌ها به‌وسیله‌ی آب باران از افق‌های فوقانی به افق‌های پایین حرکت کرده‌اند. افق پایین‌تر که افق B نامیده می‌شود در بعضی از مواقع در آن‌ها اکسیدهای آهن و رس تجمع یافته و ساختمان خاص تشکیل می‌شود. حضور افق‌ها و خصوصیات آن‌ها در این خاک‌رخ آنرا از هزاران خاک دیگر در روی زمین متمایز می‌سازد.



شکل ۱۲-۱ افق‌های خاک با افزایش مواد به بخش‌های فوقانی خاکریز و جابه‌جایی سایر مواد به افق‌های زیرین شروع به تفکیک شدن می‌کنند. تحت شرایط خاص و معمولاً با حضور پوشش جنگلی و بارندگی زیاد یک افق شستشو یافته (E) بین افق ماده آلی A و افق B شروع به تشکیل می‌کند. اگر بارندگی بمقدار کافی زیاد باشد نمک‌های محلول به پایین خاکریز انتقال خواهند یافت و احتمالاً اغلب به آبهای زیرزمینی راه خواهند یافت.



شکل ۱۳-۱ (سمت چپ) این خاکریز با حفر چاله‌ای با حدود ۲ متر عمق در یک خاک کاملاً تکامل یافته (هاپلودالف) در جنوب ایالت میشیگان در معرض دید قرار گرفته است افق‌های فوقانی به آسانی قابل تشخیص می‌باشند زیرا دارای رنگ تیره‌تری نسبت به افق‌های پایین می‌باشند گرچه تشخیص بعضی افق‌ها در این خاکریز براساس رنگ به‌خصوص در عکس‌های سیاه و سفید بسیار مشکل می‌باشد یک نخ سفید برای مشخص کردن مرز بعضی از افق‌ها بر روی خاکریز قرار گرفته است و یک بیلمچه پر از خاک از هر خاکریز جدا کرده و بر روی یک تخته افقی در سمت راست پهن گردید. مشخص شد چه خاک جدا شده و چه خاک جدا نشده در افق‌هایی که دارای رنگ بسیار مشابه هستند ممکن است دارای خصوصیات فیزیکی بسیار متفاوت باشند.

ریشه گیاهان و ریزجانداران، به‌خصوص در مناطق مرطوب، اغلب تا زیر افق B توسعه می‌یابند و سبب تغییرات شیمیایی در محلول خاک، مقداری هوادهی - شیمیایی رگولیت و تشکیل افق C می‌شوند. افق C کمترین بخش هوا دیده خاک است. در بعضی از خاک‌ها افق‌های مربوطه از نظر رنگ بسیار متمایز بوده و دارای مرزهای آشکار می‌باشند که حتی به وسیله نظاره‌گر مبتدی نیز قابل تشخیص می‌باشد. در خاک‌های دیگر تغییر رنگ بین افق‌ها ممکن است بسیار تدریجی بوده و مشخص کردن مرز افق‌ها بسیار مشکل باشد. هر چند رنگ، یکی از خصوصیات بسیار متنوع است که به وسیله آن یک افق از افق بالایی و یا زیرین خود مشخص می‌شود (شکل ۱-۱۳). مطالعه‌ی خاک‌ها در شرایط صحرایی یک فعالیت بدنی و فکری است، جداسازی افق‌های موجود در خاک‌ها اغلب نیازمند آزمون دقیق و استفاده از تمام اندام‌های حسی است. علاوه بر دیدن رنگ خاک‌ها، یک خاک‌شناس باید خاک را لمس و بو کرده و به آن گوش دهد^۱ و آزمایش‌های شیمیایی را برای مشخص کردن افق‌های موجود به‌انجام رساند.

۹-۱ خاک سطحی^۲ و خاک تحت‌الارض^۳

به افق غنی اولیه‌ی A در سطح خاک بعضی مواقع خاک سطحی گفته می‌شود. وقتی یک خاک مورد شخم و شیار قرار می‌گیرد حالت طبیعی در ۲۵-۱۲ سانتی‌متر فوقانی تغییر می‌یابد در این حالت به خاک سطحی ممکن است واژه‌های طبقه‌ی شخم^۴ و یا لایه‌ی شیری^۵ وقتی گاواهن فرنگی لایه فوقانی خاک را بر می‌گرداند و یا به‌صورت لایه‌هایی آن‌ها را بر روی هم قرار دهد اطلاق گردد. در صورت ترک شخم، زمین شخم سالهای متعددی آشکار باقی خواهد ماند. برای مثال اگر شما در یک جنگل شاخص در نیوانگلند گردش کنید درختان بلندی را مشاهده می‌کنید که صدها سال عمر دارند. اگر یک چاله کوچک در کف جنگل حفر کنید ممکن است هنوز قادر باشید مرز صاف بین لایه شخم صد سال قبل را با خاک روشن به‌هم‌نخورده زیر آن مشاهده کنید.

در خاک‌های شخم‌خورده بخش اعظم ریشه‌ی گیاهی در خاک رویی یافت می‌شود (شکل ۱-۱۴) خاک رویی دارای بخش اعظم عناصر غذایی و آب مورد نیاز گیاهان می‌باشند. خصوصیات شیمیایی و فراهم عناصر خاک سطحی ممکن است با مخلوط کردن اصلاح‌کننده‌های آلی و معدنی به آسانی تغییر کند. بنابراین بهبود و یا حفظ حاصلخیزی خاک و تا حدی توان تولیدی آن امکان‌پذیر می‌شود. ساختار فیزیکی خاک سطحی، به‌خصوص در بخش نزدیکتر به سطح خاک، نیز همین‌طور به آسانی تحت عملیات مدیریتی مانند خاکورزی و کاربرد مواد آلی قرار می‌گیرد، حفظ یک ساختمان باز در سطح خاک به‌خصوص برای حفظ تعادل مقدار هوا و آب برای ریشه‌ی گیاهان و برای جلوگیری از هدررفت زیاد آب و خاک به‌وسیله‌ی رواناب حیاتی می‌باشد. بعضی مواقع لایه شخم از خاک جدا شده و به عنوان خاک سطحی برای استفاده در محل دیگر به فروش می‌رسد. این نوع استفاده از خاک سطحی برای ایجاد محیط رشد ریشه برای چمن‌ها و بوته‌ها در اطراف یک ساختمان جدید الاحداث که خاک سطحی اصلی آن برداشت و یا مدفون گردیده و خاک عمقی آن آشکار شده است بسیار مناسب می‌باشد. شکل (۱-۱۵).

به لایه‌های خاک که در زیر خاک سطحی قرار گرفته است خاک تحت‌الارض گفته می‌شود. خاک تحت‌الارض در زیر عمق معمول خاک قرار دارد و بنابراین به‌طور معمول از سطح قابل مشاهده نیست. خصوصیات افق‌های تحت‌الارض می‌تواند در اکثر انواع کاربری مؤثر باشد. بخش بزرگی از آب مورد نیاز گیاهان در خاک تحت‌الارض ذخیره می‌شود. بسیاری از خاک‌های تحت‌الارض نیز مقدار مهمی از عناصر غذایی مشخص مورد نیاز گیاهان را فراهم می‌کنند. در بعضی از خاک‌ها تغییر بسیار بارزی در خصوصیات خاک رویی و خاک تحت‌الارض مشاهده می‌شود. در خاک‌های دیگر این تغییر تدریجی بوده و بخش فوقانی خاک تحت‌الارض ممکن است کاملاً شبیه خاک سطحی باشد. در اکثر خاک‌ها خصوصیات خاک سطحی سودمندتر از خاک تحت‌الارض برای رشد گیاه می‌باشد و این مشخص می‌سازد که چرا همبستگی خوبی بین توان تولید خاک و ضخامت خاک سطحی یک خاک‌رخ وجود دارد.

لایه‌های غیرقابل نفوذ و همچنین اسیدی خاک تحت‌الارض می‌توانند از توسعه‌ی ریشه گیاهان ممانعت کند. زه‌کشی ضعیف در خاک‌های تحت‌الارض می‌تواند سبب ایجاد آب ماندگی در خاک سطح‌الارض شود. به خاطر عدم دسترسی به خاک تحت‌الارض تفسیر فیزیکی و

^۱ - برای مثال صدای خشخش حاصل از خاک مرطوب در بین انگشتان دست بیانگر شنی بودن خاک است.

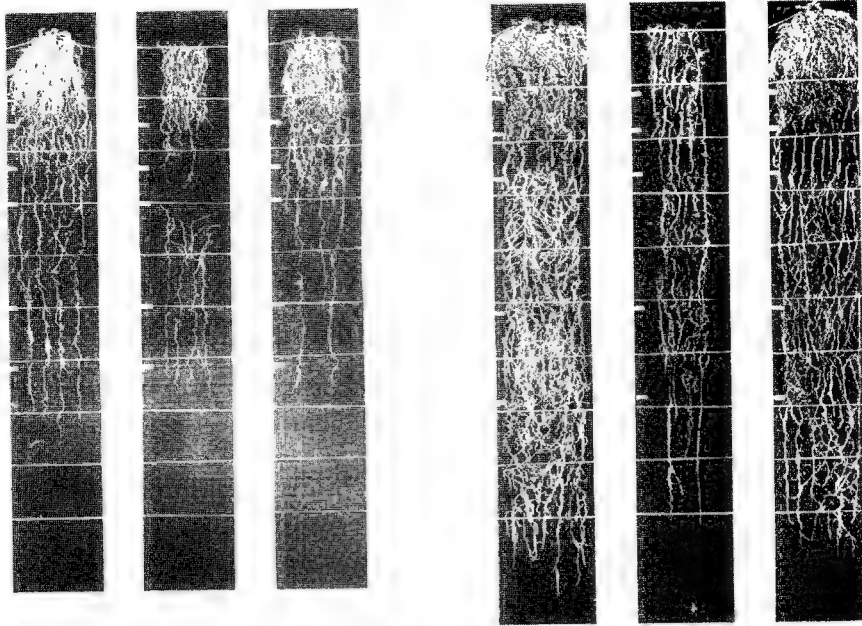
^۲ - Topsoil

^۳ - Subsoil

^۴ - Plow Layer

^۵ - Furrow Slice

شیمیایی آن بسیار مشکل و پرهزینه می‌باشد. از طرف دیگر کوددادن خوب در خاک سطحی می‌تواند سبب ایجاد گیاهان قوی گردد که ریشه‌های آن‌ها قادر به کاوش بیشتر در لایه‌های تحت‌الارض خواهد بود (شکل ۱-۱۴ و تابلو ۱-۱).



شکل ۱-۱۴ ریشه نباتات نسبت به شرایط مختلف که در افق‌های یک خاک با آن روبه‌رو می‌شوند عکس‌العمل نشان می‌دهند. ریشه تمایل دارد که در افق A نرم حاصلخیزتر و دارای تهویه بهتر از افق‌های زیرین توسعه پیدا کند. اصلاح حاصلخیزی خاک در افق A نه تنها سبب رشد ریشه در آن‌جا خواهد شد بلکه سبب افزایش قدرت و میزان توسعه‌ی نظام ریشه ژرف‌تر در خاک‌رخ نیز خواهد شد. ریشه‌های نشان داده شده در شکل از ذرت کشت شده در خاک‌های ایلینوی (سری سیزنه)^۱ می‌باشد. سمت چپ کود شیمیایی و پس‌مانده‌های گیاهی دریافت نداشته و سمت راست هم کود شیمیایی و هم پس‌مانده‌های گیاهی دریافت داشته است.



شکل ۱-۱۵ تپه‌ی بزرگ مواد در این محل ساختمان سازی شامل خاک سطحی (مواد طبقه‌ی A) می‌باشد که با دقت از لایه‌های پایین جدا شده و در طول عملیات تسطیح به کنار زده و جمع گردیده است. این توده‌ی خاکی با بذر چمن کشت شده تا دارای پوشش حفاظتی باشد. بعد از اتمام فعالیت‌های ساختمانی این توده‌ی خاک سطحی مجدداً در طراحی زمین‌های اطراف ساختمان جدید مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

بسیاری از فرایندهای شیمیایی- زیست‌شناسی و فیزیکی که خاک رویی را مشخص می‌سازد ممکن است تا حدی در افق C خاک‌ها نیز که به‌طور عمیق در مواد رگولیتی و ساپرولتی زیرین توسعه یافته انجام گیرد. به‌طور سنتی مرز پایین یک خاک جایی در نظر گرفته می‌شود که در پایین‌ترین عمق ریشه گیاهان طبیعی باشد، اما خاک‌شناسان لایه‌های زیر آن را برای فهم فرایندهای بوم‌زیستی مانند آلودگی آب زیرزمینی، هوادیدگی مواد مادری و چرخه‌های شیمی زمین مطالعه می‌کنند.

۱-۱۰ خاک: فصل مشترک هوا، کانی‌ها، آب و زندگی

بیان کردیم وقتی رگولیت با نیوار تلاقی می‌کند، دنیای هوا، سنگ، آب و اجسام زنده در هم ادغام می‌شوند. در واقع ۴ جزء ترکیبی خاک عبارتند از هوا، آب، کانی‌ها و ماده‌ی آلی، مقدار نسبی این چهار جزء ترکیبی، در رفتار و توان تولید خاک‌ها بسیار مؤثر است. در یک خاک این چهار جزء در حالت‌های پیچیده‌ای با هم مخلوط می‌شوند. گرچه نسبت حجم خاک که به‌وسیله‌ی هر یک اشغال می‌شود می‌تواند به‌وسیله‌ی یک طرح ساده معرفی گردد. شکل ۱۷-۱ بیانگر نسبت‌های تقریبی (حجمی) اجزاء ترکیبی در یک خاک لوم سطحی با شرایط خوب برای رشد گیاه می‌باشد. هر چند یک مشت پر از خاک ممکن است اول بار یک جسم جامد به‌نظر برسد اما باید توجه داد که تقریباً نصف حجم خاک از مواد جامد (مواد آلی و معدنی) تشکیل گردیده‌است. نصف دیگر شامل منافذ خاک است که به‌وسیله‌ی آب و هوا اشغال شده‌است. قسمت اعظم بخش جامد ماده معدنی است که از سنگ‌های پوسته‌ی زمین ایجاد گردیده و فقط حدود ۵٪ براساس حجم در یک خاک آرمانی از ماده آلی تشکیل شده‌است. هرچند تأثیر بخش ماده‌ی آلی در خصوصیات خاک اغلب به‌مراتب پیش‌از آن‌است که از میزان نسبی اندک ماده‌ی آلی انتظار می‌رود. از آن‌جاکه ماده‌ی آلی بسیار کم‌وزن‌تر از ماده‌ی معدنی است ماده‌ی آلی فقط ۲٪ وزن خاک را شامل می‌شود.

فضای بین مواد جامد در سرشت خاک درست به همان میزان مواد جامد مهم است. در این منافذ است که آب و هوا در گردش بوده و ریشه‌ی گیاهان رشد نموده و موجودات ذره‌بینی زندگی می‌کنند. ریشه گیاهان هم نیازمند آب و هم نیازمند هوا می‌باشد. در یک شرایط آرمانی برای اکثر گیاهان این فضا حدوداً به دو قسمت مساوی بین هر دو تقسیم می‌شود یعنی ۲۵ درصد حجم خاک شامل آب و ۲۵ درصد شامل هوا می‌باشد. اگر آب از این مقدار بیشتر شود خاک دچار آب‌ماندگی خواهد شد و اگر آب کمتری وجود داشته باشد گیاهان دچار تنش خشکی خواهند شد. میزان نسبی آب و هوا در یک خاک با اضافه‌شدن و کم‌شدن آب به‌شدت در نوسان خواهد بود. خاک که دارای بیش از ۵۰ درصد حجمی مواد جامد می‌باشد که احتمالاً برای رشد خوب نبات بسیار متراکم باشد. در مقایسه با لایه‌های خاک سطحی. خاک زیرین دارای ماده‌ی آلی کمتر، حجم منافذ کل کمتر و نسبت بیشتری از منافذ کوچک (میکروپورها)^۱ می‌باشد که بیشتر تمایل دارند از آب پر شوند.

۱-۱۱ کانی‌ها^۲ (مواد معدنی) تشکیل دهنده‌ی خاک

غیر از خاک‌های آلی، چهار چوب عمده‌ی ماده جامد خاک از کانی‌ها تشکیل شده‌است. ذرات درشت خاک که شامل سنگ‌ها، سنگ‌ریزه و شن درشت می‌باشد قطعات سنگی خاک در اندازه‌های مختلف می‌باشند. ذرات درشت‌تر اغلب از مجموع چند کانی مختلف تشکیل شده‌اند. ذرات خیلی کوچک‌تر به‌نظر می‌رسند که از یک نوع کانی تشکیل شده‌اند. بنابراین، یک خاک به‌خصوص از ذراتی تشکیل شده‌ست که از نظر اندازه و ترکیب بسیار متغیر است.

اندازه‌ی ذرات کانی در خاک بسیار متغیر است. چنانچه در حال حاضر قطعات بزرگ مانند سنگ و سنگ‌ریزه را به‌شمار نیاوریم، ذرات معدنی حاضر در خاک‌ها از نظر اندازه در ۴ رده از بزرگی قرار دارند که از ۲ میلیمتر تا ۰/۰۰۰۲ میلیمتر قطر متغیر است (جدول ۱-۲).

^۱ Micropores

^۲ - کلمه‌ی کانی به‌وسیله‌ی خاک‌شناسان به ۳ طریق مورد استفاده می‌باشد. ۱- صفت عمومی برای تشریح مواد معدنی حاصل از سنگ‌ها ۲- یک اسم خاص برای مراجعه به یک کانی خاصی موجود در طبیعت مانند کوارتز و فلدسپات (فصل دوم را برای بحث مفصل بر روی کانیهای مؤثر در تشکیل خاک و سنگ‌هایی که در آنها یافت می‌شوند مطالعه کنید) ۳- بعنوان یک صفت برای تشریح عناصر شیمیایی مانند اژت و فسفر در حالت معدنی در مقایسه با حضور آنها در بخشی از ترکیبات آلی

۲ - سامانه‌های کلویدی : دارای دو حالت می‌باشند که در آن ذرات بسیار کوچک در یک محیط با ماده متفاوت انتشار می‌یابد. رس و ذرات آلی خاک با قطر کوچکتر از ۰/۰۰۱ (میکرون) از نظر اندازه کلویدی به حساب می‌آیند. نمونه‌های دیگر سامانه کلویدی که در آن ذرات خیلی کوچک جامد در یک محیط مایع انتشار یافته‌اند شیر و خون می‌باشند.

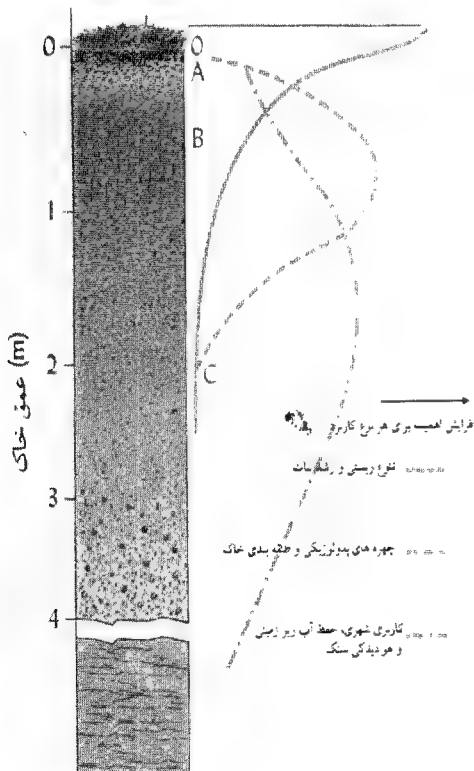
ذرات ماسه احتمالاً بیشتر از باقی اجزاء برای ما آشنا باشند. ذرات انفرادی ماسه به اندازه کافی درشت می‌باشند (۰/۰۵-۲ میلی‌متر) و با چشم عادی قابل مشاهده بوده و در صورت مالش دربین انگشتان دارای زبری می‌باشند. ذرات ماسه به همدیگر نمی‌چسبند بنابراین در آن‌ها احساس چسبندگی نمی‌شود.

تابلو ۱-۱ استفاده از اطلاعات کل خاک‌رخ

خاک‌ها اجسام سه بعدی می‌باشند که فرایندهای مهم بوم‌سامان را در تمام اعماق خاک‌رخ خود انجام می‌دهند. اطلاعات لازم برای اتخاذ تصمیمهای مدیریتی بسته به نوع کاربری از لایه‌های کم‌عمق مانند ۱ تا ۲ سانتی‌متر فوقانی تا لایه‌های عمیق مانند پایین‌ترین بخش ساپرولیت متفاوت می‌باشد (شکل ۱۶-۱).

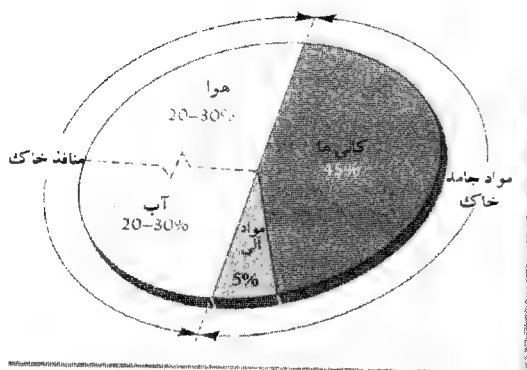
برای مثال چند سانتی‌متر فوقانی بالای خاک سطحی کلید رشد گیاهی و تنوع زیستی و همچنین فرایندهای خاص آبشناسی را در دست دارد. اینجا، در حدفاصل خاک و نیوار موجودات زنده بسیار فراوان و متنوع می‌باشند. درختان جنگلی برای جذب عناصر غذایی به‌طور عمده وابسته به پوشش تراکم ریشه درختان در این منطقه می‌باشند. شرایط فیزیکی این لایه نازک سطحی ممکن است تعیین کند که آیا باران به‌داخل نفوذ کرده و یا در سطح خاک به پایین تپه جاری خواهد شد. آلاینده‌های خاص مانند سرب از دودکش اتومبیل‌ها در بزرگراه‌ها نیز در این ناحیه متمرکز شده است. در بسیاری از بررسیهای خاک‌شناسی لازم است که از چند سانتی‌متر فوقانی جداگانه نمونه‌گیری بعمل آید تا شرایط عمده مورد مسامحه قرار نگیرد.

از طرف دیگر همین قدر مهم است که در بسیاری از خصوصیات خاک که فقط از لایه‌های عمیق خاک قابل اکتساب است نباید توجه خود را به خاک‌های سطحی سهل الوصول معطوف داریم. مسایل رشد نبات معمولاً در ارتباط با شرایط نامناسب در افق B یا C که سبب محدودیت انتشار ریشه است میباشد. همین‌طور حجم بزرگی از این لایه‌های عمیق ممکن است تعیین‌کننده مقدار آب قابل استفاده نبات به‌وسیله خاک باشد. برای تشخیص و تهیه نقشه‌ی خاک‌های مختلف خصوصیات طبقه‌ی B اغلب دارای بالاترین اهمیت می‌باشد. این افق نه‌تنها محل عمده تمرکز کانی‌ها و رس می‌باشد بلکه لایه‌های نزدیکتر سطح خاک به‌وسیله مدیریت و فرسایش خاک چنان سریع دچار تغییر می‌شوند که نمی‌توانند به‌عنوان یک منبع قابل‌اعتماد برای طبقه‌بندی خاک‌ها مورد استفاده قرار گیرند.



در رگولیت‌های هوادیده عمیق افق‌های زیرین C و ساپرولیت نقش عمده‌ای ایفا می‌کنند. این لایه‌ها معمولاً در عمق بیشتر از ۱ تا ۲ متر و گاهی تا عمق ۵-۱۰ متر در تناسب خاک برای اکثر کاربریهای شهری که شامل حفاری و ساخت است مؤثر می‌باشد. کارایی نظام‌های دفع فاضلاب در محل و پایداری شالوده‌ی ساختمان‌ها اغلب به‌وسیله خصوصیات رگولیت در این عمق تعیین می‌شود. همین‌طور، فرایندهایی که حرکت آلاینده‌ها به‌داخل آب زیرزمینی و هوادیدگی مواد زمین‌شناختی را اداره می‌کند ممکن است در اعماق چند متری صورت گیرند. این لایه‌های عمیق همچنین دارای تأثیر عمده بوم‌شناختی می‌باشند زیرا گرچه شدت فعالیت‌های زیستی و ریشه دوانی ممکن است کاملاً پایین باشد. تأثیر کلی به‌خاطر حجم زیاد خاک که دخیل است بسیار بزرگ می‌باشد. این امر در نظام جنگل در اقلیم گرم به‌خصوص صادق است.

شکل ۱۶-۱ اطلاعات مهم در مورد وظایف مختلف خاک و کاربردهای آن با احتمال زیاد با مطالعه لایه‌های مختلف خاک‌رخ قابل استحصال است.



شکل ۱-۱۷ ترکیب حجمی یک خاک بوم سطحی که شرایط آن برای رشد گیاه مطلوب است، خط بین آب و هوا بیانگر آن است که نسبت بین این دو جزء با خشک تر شدن و یا مرطوب تر شدن خاک در حال نوسان است هر چند یک نسبت مساوی بین آب و هوا معمولاً برای رشد گیاهان آرمانی می‌باشد

ذرات لای (سیلت) مقداری کوچک‌تر از ذرات ماسه می‌باشد (۰/۰۰۲-۰/۰۰۵ میلیمتر) این ذرات بسیار کوچک هستند و غیر از میکروسکوپ با چشم عادی قابل مشاهده نبوده و یا به تنهایی قابل درک کردن نیستند. لمس لای احساس صابونی بودن و یا صاف بودن (بدون چسبیدگی) را حتی در شرایط تر تداعی می‌کند. کوچک‌ترین کلاس ذرات خاک رس‌ها (۰/۰۰۲ میلیمتر) که به همدیگر چسبیده و تولید یک توده‌ی چسبناک را در حالت تر و کلوخه‌های سخت را در حالت خشک می‌کند. ذرات کوچک‌تر از ۰/۰۰۱ میلیمتر رس (و ذرات آلی هم اندازه رس‌ها) دارای خاصیت کلویدی^۱ می‌باشند و فقط با کمک میکروسکوپیای الکترونی دیده می‌شوند. به دلیل اندازه خیلی کوچک، ذرات کلویدی دارای سطح بسیار زیادی در واحد جرم (سطح مخصوص) می‌باشند. از آن‌جا که سطح کلوئیدها (آلی و معدنی) دارای بار الکترومغناطیسی است که سبب جذب یون‌های مثبت و منفی و همچنین آب می‌شوند. این بخش از خاک جایگاه مهمترین فعالیتهای فیزیکی و شیمیایی خاک می‌باشد.

نسبت ذرات در این اندازه‌های مختلف بافت خاک^۲ نامیده می‌شود. واژه گانی چون لوم شنی، رس سیلتی، لوم رسی برای تعیین بافت خاک بکار می‌رود. بافت اثر چشمگیری بر بسیاری از خصوصیات خاک دارد و در تناسب آن برای اکثر کاربریها اثرگذار است. برای درک میزان تأثیر خصوصیات خاک به وسیله‌ی بافت تصور کنید که شما با لباس شنا اول در یک ساحل شنی و بعد در یک ساحل با رس چسبنده دراز کشیده‌اید. تفاوت در بین این دو تجربه عمدتاً به خاطر خصوصیتی است که در سطرهای ۵ و ۷ جدول ۱-۲ آمده است. سایر خصوصیات که در ارتباط با اندازه ذرات است همچنین در جدول ۱-۲ آمده است. توجه کنید که ذرات در اندازه رس نقش غالبی در نگهداری مواد شیمیایی معدنی و عرضی عناصر غذایی برای گیاهان دارند.

برای پیش‌بینی نقش رس در نحوه‌ی رفتار خاک کافی نخواهد بود که فقط مقدار رس را در خاک بدانیم، بلکه لازم است انواع رس‌های موجود را نیز بشناسیم. همان‌طور که سازندگان منازل و مهندسين شاهراه‌ها همگی به خوبی می‌دانند که خاک‌های رسی خاص، یعنی آن‌ها که دارای مقدار بسیاری رس اسمکتیت می‌باشند، خصوصیات بسیار ناپایداری برای ایجاد ساختمان بر روی خود ارائه می‌دهند زیرا رس‌ها در صورت مرطوب بودن خاک انبساط یافته و در صورت خشک شدن انقباض می‌یابند. این انبساط و انقباض می‌تواند سبب ترک خوردن شالوده‌ها و فروپاشی دیوارهای محافظ سنگین شود. این رس‌ها هنگامی که تر می‌باشند بسیار چسبنده گردیده و کار کردن بر روی آن‌ها مشکل می‌باشد. دیگر انواع رس، که در شرایط مختلفی ایجاد شده‌اند می‌توانند خیلی پایدار بوده و کار کردن با آن‌ها آسان باشد. آشنایی با کانی‌های مختلف رسی به ما کمک می‌کند که بسیاری تفاوتها را در مورد خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های جهان درک کنیم.

کانی‌های اولیه و ثانویه

کانی‌های که ترکیب آن‌ها از هنگام جریان مواد مذاب دچار تغییر اندکی شده است. (مانند کوارتز، میکا و فلدسپار). کانی‌های اولیه نامیده می‌شوند. این کانی‌ها در بخش شن ولای خاک‌ها به وفور وجود دارند. سایر کانی‌ها مثل رس‌های سیلیکاتی و اکسیدهای آهن بر اثر تخریب و هوادیدگی کانی‌ها با مقاومت کمتر در طول فرایند خاک‌سازی تشکیل شده اند. این کانی‌ها، کانی‌های ثانویه نامیده می‌شوند و در بخش رس و بعضی مواقع لای غالب می‌باشند کانی‌های معدنی منبع اصلی اکثر عناصر شیمیایی لازمه رشد نبات می‌باشند، بخش عمده‌ی این عناصر غذایی به صورت بسیار قوی در ساختمان بلوری کانی‌ها نگهداری می‌شوند. بخش کوچک اما مهمی از آن‌ها به صورت یون‌های

^۱ - Colloidal Properties

^۲ - Soil Texture

باردار بر روی سطح ذرات کلوییدی بسیار ریز (رس‌ها و مواد آلی) قرا دارند. در سازوکارهای بسیار حیاتی برای رشد نباتات، ریشه گیاهان امکان دست یابی به این سطوح نگهدارنده این‌ها را پیدا می‌کنند (فصل ۱۶-۱)

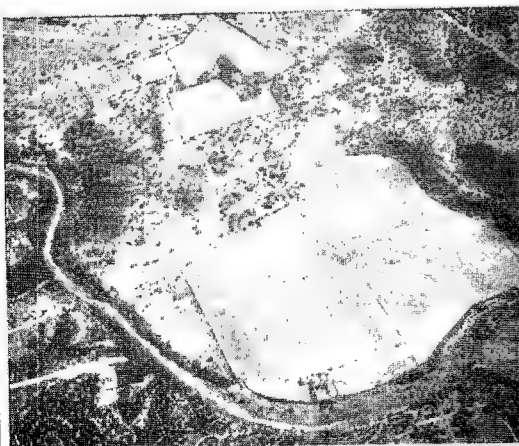
تابلو ۲-۱ مشاهده خاک‌ها در زندگی روزمره

مطالعه‌ی شما در خاک‌ها وقتی غنی خواهد شد که تلاش کنید از بسیاری ارتباطات روزمره با خاک‌ها و تأثیر آن‌ها که بی‌خبر بر روی بسیاری از مردمان اعمال می‌شود آگاه گردید. وقتی یک چاله حفر می‌کنید که یک درخت را غرس کرده و یا یک پایه حصارکشی را نصب کنید به افق‌های مختلف که با آن روبه‌رو می‌شویم توجه نموده و دقت کنید که چگونه خاک هر لایه دارای رنگ و درک متفاوتی می‌باشد. اگر از کنار یک محل ساختمان‌سازی عبور کنید یک لحظه مشاهده افق‌های ظاهر شده بر اثر حفاری توجه کنید. یک مسافرت با هواپیما فرصت بزرگی برای مشاهده تغییرات خاک‌ها در چشم‌انداز و یا اقلیم آب‌وهوایی می‌باشد. اگر در طول ساعات روز پرواز می‌کنید خواستار صندلی کنار پنجره باشید. به اشکال خاک‌های انفرادی در اراضی شخم‌زده در پاییز و بهار تماشا کنید (شکل ۱۸-۱).

خاک‌ها به شما دلایلی برای فهم فرایندهای طبیعی که در اطراف شما تداوم دارند ارایه می‌دهد. در کنار رودخانه از یک ذره‌بین برای مشاهده ذرات شن ته‌نشین شده در کف و کناره‌ها استفاده کنید. ممکن است شامل کانی‌های باشد که در خاک و سنگ‌های اطراف موجود نباشد، اما از کیلومترها فاصله در بالادست رودخانه ناشی شده باشد. وقتی اتومبیل خود را می‌شوید مشاهده کنید که گل چسبیده به لاستیک و گلگیرها دارای رنگ و پایداری متفاوتی با خاک‌های نزدیک منزل شما دارد. آیا گل روی اتومبیل شما می‌گویند که کجا رانندگی کرده‌اید. تحقیقات پزشکی قانونی در مشورت با دانشمندان خاک برای مشخص کردن محل جرم و شناخت جرم با مقایسه خاک چسبیده به کفش. لاستیک اتومبیل و یا ادوات با خاک محل وقوع جرم مشهور می‌باشند.

سایر نمونه‌ها از بقایای خاک می‌تواند حتی نزدیکتر به منزل یافت شود. بار دیگر که کرفس یا کاهو را از سوپرمارکت به منزل می‌آورید به دقت به ذرات کوچک خاک که به ته برگ‌ها و یا ساقه چسبیده است نگاه کنید (شکل ۱۹-۱). خاک را بین انگشتان شست و دیگر انگشتان بمالید. خاک نرم بسیار سیاه ممکن است حاکی از این باشد که کاهو در خاک‌های ماک، مانند خاک‌های ایالت نیویورک و یا جنوب فلوریدا کاشته شده باشند. خاک‌های قهوه‌ای روشن با لمس صافی با زبری خیلی کم شاخص محصولات کاسته شده در کالیفرنیا می‌باشد. خاک‌های زیر با رنگ روشن معمول جنوب جورجیا، شمال فلوریدا که منطقه کشت سبزیها است می‌باشد. در یک کیسه‌ی لوییای خشک پیتو ممکن است به تکه‌های خاک که به دلیل هم اندازه با دانه‌های لوییا در مرحله پاک‌کردن جدا نشده است برخورد کنید این خاک تیره رنگ و خبلی چسبناک از منطقه تومب میسگان که بخش بزرگی از لوییا خشک آمریکا کشت می‌شود می‌باشد.

امکان ملاحظه‌ی خاک‌ها در زندگی روزمره از مقیاس کوچک تا مقیاس بزرگ و از بسیار آشکار تا پنهان متغیر است، همان‌طور که به دانش بیشتری از خاک دست می‌یابید شما بدون شک می‌توانید نمونه‌های بیشتری از تأثیر آن‌ها در اطراف خود مشاهده کنید.



شکل ۱۸-۱ خاک‌ها با رنگ روشن و تیره همان‌طور که در هواپیما بر فراز تگزاس مرکزی مشاهده می‌شوند، بیانگر تفاوت در زه‌کشی و پستی و بلندی می‌باشد.



شکل ۱۹-۱ گرچه این کاهو در یک مغازه‌ی خواروبارفروشی ویرجینیای در اول پاییز خریداری شده خاک سیاه ماک چسبیده به پایه برگ‌ها بیانگر آن است که در خاک‌های آلی احتمالاً در نیویورک کشت شده باشد.

ساختمان خاک

ذرات شن، لای و رس را باید به عنوان قطعات ساختمانی که ساختمان خاک را می‌سازند در نظر گرفت، حالتی که این قطعات ساختمانی چیده می‌شوند ساختمان خاک نام دارد. این ذرات ممکن است تقریباً مستقل از همدیگر باقی بمانند، اما اغلب با همدیگر به صورت خاکدانه‌های با اندازه‌های مختلف تجمع می‌یابند. این خاکدانه‌ها ممکن است دارای شکل دانه‌ای گرد، قطعات مکعبی، بشقابی سطح و یا سایر باشند. ساختمان خاک (شیوه‌ای که ذرات نظم و ترتیب می‌یابند) به همان اهمیت بافت خاک (میزان نسبی ذرات با اندازه‌های مختلف) در چگونگی حرکت آب و هوا به داخل خاک مؤثر می‌باشند. ساختمان و بافت خاک هر دو برای تناسب خاک جهت رشد ریشه‌های نبات دارای اثرات اساسی می‌باشند.

جدول ۱-۲ بعضی از خصوصیات عمومی سه کلاس عمده اندازه ذرات خاک‌های معدنی

خصوصیت	ماسه	لای	رس
۱- دانه‌بندی اندازه قطر ذرات میلی‌متر	۰/۰۵ - ۲	۰/۰۰۲ - ۰/۰۵	۰/۰۰۲ <
۲- وسیله‌ی مشاهده	چشم عادی	میکروسکوپ	میکروسکوپ الکترونی
۳- کانی‌های عمده	اولیه	اولیه و ثانویه	ثانویه
۴- میزان جذب ذرات با همدیگر	کم	متوسط	زیاد
۵- میزان کشش ذرات برای جذب آب	متوسط	متوسط	زیاد
۶- توانایی نگهداری مواد شیمیایی و عناصر غذایی برای استفاده نبات	بسیار کم	کم	زیاد
۷- پایداری در حالت تر	سست و زیر	نرم	چسبنده و شکل‌پذیر
۸- پایداری در حالت خشک	سست و زیر	گرد مانند تاحدی کلوخه	کلوخه‌ی سخت

۱-۱۲ ماده‌ی آلی خاک

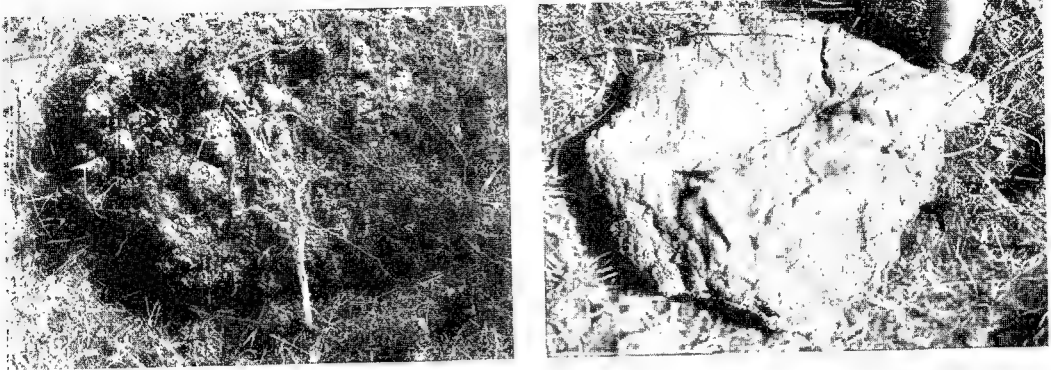
ماده‌ی آلی خاک از مواد آلی (مواد کربن‌دار) بسیار متنوعی تشکیل شده است که شامل موجودات زنده (زیتوده خاک) بقایای کربن دار موجوداتی که زمانی خاک را تسخیر کرده بودند و ترکیبات آلی تولید شده به وسیله‌ی سوخت و ساز جاری و قدیم در خاک می‌باشد. بقایای گیاهان و جانوران و موجودات ذره‌بینی دائماً در خاک تجزیه شده و مواد جدید به وسیله‌ی سایر موجودات میکروسکوپی بازسازی می‌شوند. در طول زمان، که از یک ساعت تا قرن‌ها متغیر است، ماده‌ی آلی خاک به صورت گازکربنیک حاصل از تنفس میکروبی از دست می‌رود. به خاطر این هدررفت اضافه کردن مرتب بقایای جدید نباتی و جانوری برای حفظ مقدار ماده‌ی آلی خاک لازم می‌باشد.

در شرایطی که برای تولید گیاهی بسیار مناسب‌تر از تجزیه‌ی میکروبی است مقدار زیادی از گازکربنیک نیوار به وسیله‌ی گیاهان در فرایند فتوسنتز در بافتهای فراوان گیاهی مصرف گشته و به بخشی از ماده‌ی آلی تبدیل می‌شوند. از آنجاکه گازکربنیک یکی از علل عمده اثرات گلخانه‌ای است که عقیده بر آن است سبب گرم شدن نیوار زمین می‌شود، تعادل بین تجمع ماده‌ی آلی خاک و هدررفت آن به وسیله‌ی تنفس میکروبی دارای کاربرد جهانی می‌باشد. در واقع کربن بیشتری در خاک‌های دنیا در مقایسه با مجموع زیتوده نباتی جهان و نیوار وجود دارد. با این وصف، کربن آلی فقط بخش کوچکی از جرم یک توده‌ی خاک را تشکیل داده است. خاک‌های نمونه معدنی سطحی با زه‌کشی خوب دارای ۱ تا ۶ درصد ماده‌ی آلی می‌باشند. میزان ماده‌ی آلی خاک تحت‌الارض حتی از این مقدار کمتر است. هرچند تأثیر ماده‌ی آلی در خصوصیات خاک، و نهایتاً رشد گیاهی بسیار بیشتر از آن است که از درصد اندک ماده‌ی آلی انتظار می‌رود.

ماده‌ی آلی سبب پیوند ذرات معدنی در یک ساختمان دانه‌دانه‌ای است که به‌طور عمده علت اصلی ایجاد شرایط خاک نرم با مدیریت آسان در خاک‌های پارور است. بخشی از ماده‌ی آلی خاک که به‌طور خاص در تثبیت این خاکدانه‌ها مؤثر هستند از مواد چسب‌مانند تشکیل شده‌اند که به وسیله‌ی موجودات مختلف از جمله ریشه‌ی گیاه تولید می‌شوند (شکل ۲۰-۱).

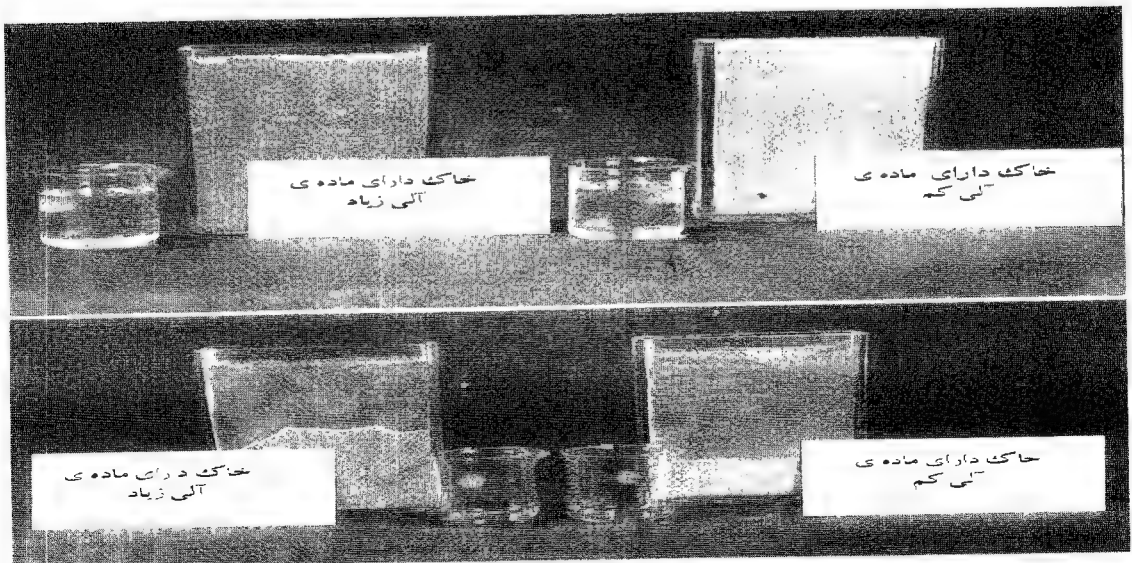
ماده‌ی آلی همچنین مقدار آب قابل نگهداری و بخشی از آب استفاده‌ی نبات را افزایش می‌دهد (شکل ۲۱-۱) به علاوه ماده‌ی آلی منبع عمده‌ی عناصر غذایی گیاهی مانند فسفر، گوگرد، و منبع اولیه‌ی ازت برای بسیاری از نباتات می‌باشد. با پوسیده شدن ماده‌ی آلی، این عناصر

غذایی که در ترکیبات آلی یافت می‌شوند به صورت بین‌های محلول آزاد می‌شوند که می‌توانند به وسیله ریشه گیاهان جذب شوند. نهایتاً ماده‌ی آلی، از جمله پس‌مانده‌های گیاهی و جانوری غذای اصلی فراهم‌کننده کربن و انرژی برای موجودات خاک است. بدون آن‌ها فعالیت‌های زیست‌شیمی که برای ایفای نقش بوم‌سامان‌ها لازم است متوقف خواهند شد.



شکل ۱-۲۰ ماده‌ی آلی فراوان شامل ریشه‌ی گیاهان در ایجاد خصوصیات شیمیایی مطلوب برای رشد گیاهان عالی و همچنین میکروب‌ها (چسب عکس) کمک می‌کند. برعکس، خاک‌های فقیر از نظر ماده‌ی آلی به ویژه اگر درصد رس و لای آن‌ها بالا باشد اغلب کلوخه‌ای (راست عکس) بوده و برای رشد بهینه‌ی گیاه مناسب نمی‌باشند.

هموس، که معمولاً دارای رنگ سیاه و یا قهوه‌ای می‌باشد، مجموعه‌ای از ترکیبات بسیار پیچیده آلی است که در داخل خاک به دلیل مقاومت نسبی آن به تجزیه تجمع می‌یابد همانند رس که بخش کلوییدی مواد جامد خاک را می‌باشد هموس بخش کلوییدی ماده‌ی آلی خاک را فراهم می‌آورد. به خاطر سطوح باردار آن‌ها، هموس و رس هردو به عنوان پل ارتباطی بین ذرات درشت خاک عمل می‌کنند. بنابراین، هر دو نقش مهمی را در ایجاد ساختمان خاک بازی می‌کنند. بار سطحی هموس مانند رس سبب جذب و نگهداری آب و یون‌ها می‌شود، هرچند در جرم‌های برابر، ظرفیت هموس در نگهداری آب و عناصر غذایی بسیار بیشتر از رس می‌باشد. برخلاف رس، هموس شامل ترکیبات به خصوصی است که دارای اثرات محرک هورمون مانند در گیاهان است. مقدار اندک هموس به طور قابل ملاحظه‌ای ظرفیت خاک را برای رشد نبات افزایش می‌دهد.



شکل ۱-۲۱ خاک‌ها دارای ماده‌ی آلی زیادتر دارای رنگ تیره‌تر و ظرفیت آب قابل استفاده‌ی بیشتری از خاک‌های دارای ماده‌ی آلی کمتر می‌باشند. خاک موجود در هر دو ظرف دارای بافت یکسان بوده اما خاک سمت راست از بیشتر ماده‌ی آلی آن تهی شده است. مقدار آب مساوی به هر ظرف اضافه گردید همان‌طور که عکس پایین نشان می‌دهد عمق دخول آب در ظرف دارای ماده‌ی آلی زیادتر، به دلیل ظرفیت نگهداری بالای آب، کمتر می‌باشد حجم بیشتری از خاک با ماده‌ی آلی کمتر لازم است تا همان مقدار آب را نگهداری کند.

۱-۱۳ محلول خاک : یک محلول پویا

آب در ایفای نقش زیست بوم خاک‌ها دارای اهمیت حیاتی می‌باشد، حضور آب در خاک برای بقا و رشد گیاهان و دیگر موجودات زنده خاک اساسی است. رژیم رطوبتی خاک که اغلب منعکس‌کننده‌ی عوامل اقلیمی است، مشخص‌کننده توان تولید در بوم‌سامان‌های زیستی از جمله کشاورزی است. حرکت آب و مواد محلول در آن و در داخل خاک‌رخ خاک دارای پی‌آمدهای مهمی در کیفیت و کمیت منابع آب محلی و منطقه‌ای می‌باشد. حرکت آب در داخل رگولیت نیز عامل محرک عمده در تشکیل خاک است.

دو عامل عمده مشخص می‌کنند که چرا محلول خاک از تصور هر روز ما، مثلاً با آب آشامیدنی در یک لیوان، متفاوت می‌باشد.

۱- آب در داخل منافذ خاک با درجات مختلف کشش براساس مقدار آب موجود و اندازه‌ی منافذ نگهداری می‌شود. نیروی کشش بین آب و سطح ذرات خاک توانایی آب را برای جاری‌شدن، همانند آبی که از یک لیوان روان می‌شود کاهش می‌دهد.

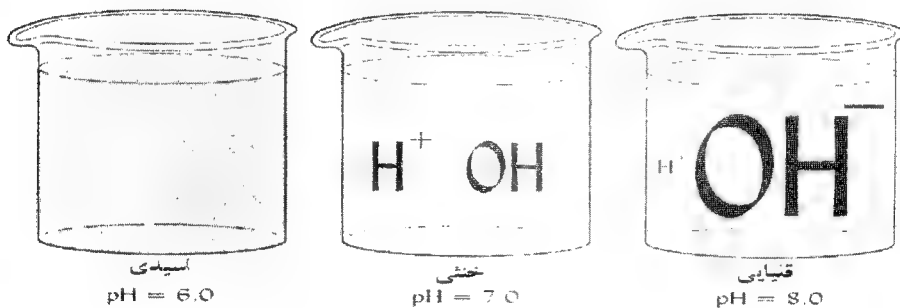
۲- از آنجایی که محلول خاک هیچوقت خالص نیست و حاوی صدها مواد محلول آلی و معدنی می‌باشد، درست‌تر آن است که آنرا محلول خاک بنامیم. یک نقش مهم محلول خاک کارکرد آن به‌عنوان یک محلول رقیق با قابلیت جایگزینی مداوم است که عناصر غذایی محلول (کلسیم، پتاسیم، ازت و فسفر) را به ریشه‌ی گیاهان انتقال می‌دهد.

وقتی میزان رطوبت خاک برای رشد نبات بهینه باشد (شکل ۱۷-۱) آب می‌تواند در داخل منافذ درشت و متوسط خاک حرکت کرده و به‌وسیله‌ی گیاهان مورد استفاده قرار گیرد. پس از برداشت بخشی از آب به‌وسیله‌ی گیاهان درحال رشد، آنچه باقی می‌ماند در منافذ کوچک، و به‌صورت پوسته‌های نازکی در دور ذرات خاک قرار دارد. ذرات جامد خاک این آب را به‌شدت جذب کرده و با ریشه گیاهان برای نگهداری آن به رقابت خواهند پرداخت، بنابراین، تمام محلول خاک برای نباتات قابل استفاده نیست. بسته به نوع خاک $\frac{1}{4}$ تا $\frac{1}{2}$ رطوبت بعد از آنکه گیاهان از کمبود آب دچار پژمردگی و یا مرگ گردند، در خاک باقی می‌ماند.

محلول خاک

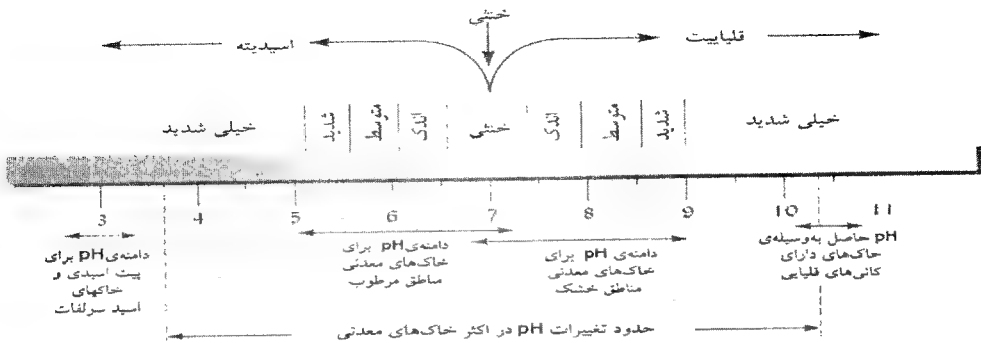
محلول خاک حاوی مقادیر اندک اما مهمی از ترکیبات محلول معدنی است که بعضی از آن‌ها عناصری را که برای رشد گیاه اساسی می‌باشد عرضه می‌کند. به جدول ۱-۱ در مورد ۱۸ عنصر اساسی همراه منابع آن مراجعه کنید. مواد جامد خاک، به‌خصوص ذرات ریز کلویدی آلی و معدنی این عناصر را به محلول خاک که به‌وسیله‌ی گیاهان جذب گردیده‌اند مجدداً عرضه می‌کند. چنین تبادلات، که برای گیاهان عالی حیاتی می‌باشند وابسته به محلول خاک و ذرات کوچک جامد خاک است.

یکی دیگر از خصوصیات اساسی محلول خاک اسیدی و یا قلیایی بودن آن است. بسیاری از واکنش‌های شیمیایی و زیستی به مقادیر یون‌های H^+ و OH^- در محلول خاک وابستگی دارد. مقدار این یون‌ها، در حلالیت و در نتیجه در قابلیت استفاده چندین عنصر اساسی (از جمله آهن و منگنز)، برای نباتات مؤثر است.



شکل ۱-۲۲ معرفی اسیدی‌بودن، قلیاییت و خنثی‌بودن خاک به‌صورت نمایشی. در محدوده‌ی خنثی یون‌های H^+ و OH^- محلول در تعادل بوده و مقدار نسبی آن‌ها برابر خواهد بود. (در $pH = 7$) در pH معادل ۶ یون‌های H^+ غالب و غلظت آن‌ها ۱۰ برابر نسبت به حالت اول بیشتر خواهد بود. و یون‌های OH^- نیز به نسبت کاهش خواهد یافت و به $\frac{1}{10}$ مقدار قبلی خواهد رسید. بنابراین در pH معادل ۶ اسیدی خواهد بود و میزان H^+ ۱۰۰ برابر بیشتر از مقدار OH^- می‌باشد. در pH معادل ۸ دقیقاً عکس حالت قبلی است. یون‌های OH^- ۱۰۰ برابر بیشتر از یون‌های H^+ خواهد بود. بنابراین خاک در pH ۸ قلیایی می‌باشد. این روابط متقابل بر عکس. باید در هنگام استفاده از اطلاعات pH در نظر گرفته شوند.

غلظت یونهای H^+ و OH^- در محلول خاک معمولاً با اندازه گیری pH محلول خاک مشخص می‌شود. از نظر فنی عبارتست از لگاریتم منفی غلظت یون H^+ در محلول خاک. شکل ۲۲-۱ به سادگی رابطه بین pH و غلظت یونهای H^+ و OH^- را نشان می‌دهد. شکل ۲۳-۱ که بیانگر دامنه‌ی تغییرات pH است و معمولاً در خاک‌های اقلیم مختلف با آن مواجه می‌باشیم باید به دقت مورد مطالعه قرار گیرد. pH که بعضی مواقع به عنوان متغیر اصلی نامیده می‌شود. سرشت بسیاری از واکنش‌های شیمیایی و میکروبی را در خاک تعیین می‌کند و دارای اهمیت بالایی در تمام جنبه‌های اساسی دانش خاک‌شناسی است.



شکل ۲۳-۱: دامنه‌ی pH برای اکثر خاک‌های معدنی و دامنه‌های که معمولاً در مناطق مرطوب و خشک یافت می‌شوند. حداکثر قلیائیت برای خاک‌های قلیایی و حداقل pH که در خاک‌های پیت خیلی اسیدی یافت می‌شوند نیز مشخص شده است.

۱۴-۱ هوای خاک یک مخلوط در حال تغییر از خاک‌ها

نصف حجم خاک تقریباً از منافذ با اندازه‌های مختلف تشکیل شده است (به شکل ۱۷-۱ مراجعه کنید) که با آب و یا هوا پر شده است. وقتی آب داخل خاک می‌شود در بعضی منافذ جایگزین هوا می‌شود. بنابراین، میزان هوای خاک در ارتباط معکوس با میزان آب در خاک است. اگر به شبکه منافذ خاک به عنوان نظام تهویه‌ای خاک که منافذ را به نیوار ارتباط می‌دهد توجه داشته باشیم می‌توانیم این موضوع را درک کنیم که زمانی منافذ کوچک خاک به وسیله‌ی آب پر شوند، سامانه‌ی تهویه‌ی خاک مسدود خواهد شد. فکر کنید اگر مجرای تهویه کلاس درس مسدود باشد، هوا چقدر خفه‌کننده خواهد بود زیرا امکان ورود اکسیژن به داخل اطاق وجود نداشته و گازکربنیک نیز خارج نخواهد شد، هوای اطاق پرودی از اکسیژن عاری شده و از گازکربنیک و بخار آب حاصل از تنفس داخل اطاق مملو خواهد شد. در یک منفذ داخل خاک که مملو از هوا بوده و به وسیله‌ی منافذ کوچک مملو از آب محاصره شده باشد، فعالیت سوخت‌وساز ریشه‌ی گیاهان و زیواچه‌های خاک به‌طور مشابه تحت تأثیر قرار خواهند گرفت.

بنابراین هوای خاک از هوای نیوار از چند جنبه متفاوت است. اول، ترکیب هوای خاک نقطه به نقطه در داخل خاک متفاوت است. در پاره‌ای از منافذ بعضی از گازها به وسیله‌ی ریشه‌ی گیاهان و واکنش‌های میکروبی مصرف شده‌اند و گازهای دیگر آزاد گردیده است بنابراین ترکیب هوای خاک را بسیار تغییر داده است. دوم، هوای خاک معمولاً دارای رطوبت بیشتری از نیوار می‌باشد، رطوبت نسبی هوای خاک حدود ۱۰۰ درصد است مگر اینکه خاک خیلی خشک باشد. سوم، میزان گازکربنیک (CO_2) به مراتب بالاتر و میزان گاز اکسیژن (O_2) به مراتب کمتر از مقدار آن‌ها در نیوار می‌باشد. گازکربنیک موجود در هوای خاک چند صد برابر غلظت ۰/۰۳۵ درصد مقدار معمول آن در نیوار است. اکسیژن نیز نسبتاً کاهش یافته و در موارد حاد ممکن است به ۵ تا ۱۰ درصد و حتی به کمتر درمقایسه با حدود ۲۰ درصد مقدار معمول آن در نیوار برسد.

مقدار ترکیب هوای خاک تا حد زیادی به وسیله‌ی میزان محلول خاک تعیین می‌شود. هوا، منافذی را اشغال می‌کند که به وسیله‌ی آب پر نشده باشد. به دنبال یک بارندگی شدید و یا آبیاری وقتی خاک زه‌کشی می‌شود، اول منافذ درشت، و به دنبال آن منافذ متوسط، و نهایتاً منافذ ریز پس از آنکه آب آن‌ها به وسیله‌ی تبخیر و یا مصرف گیاهان خارج می‌شود از هوا مملو می‌شوند و این تهویه ضعیف خاک‌ها را با میزان نسبی منافذ ریز زیاد توضیح می‌دهد. در این خاک‌ها آب غالب بوده و میزان هوای خاک، و هم‌ین‌طور نسبت انتشار هوای نیوار به داخل خاک و انتشار هوای خاک به داخل نیوار اندک می‌باشد. نتیجه‌ی نهایی مقادیر زیاد (CO_2) و مقادیر اندک (O_2) و شرایط غیرمطلوب برای رند

اکثر گیاهان می‌باشد. در شرایط حاد، کمبود اکسیژن در هوای خاک و محلول آب ممکن است واکنش‌های شیمیایی در محلول خاک را به‌طور اساسی تغییر دهد. این امر دارای اهمیت خاص برای درک نقش خاک‌های مرطوب می‌باشد.

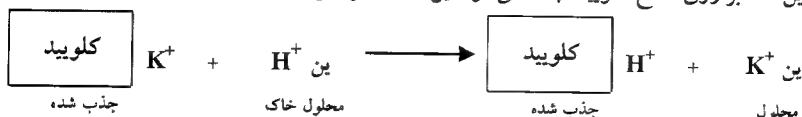
۱۵-۱ اثرات متقابل چهار جزء ترکیبی خاک برای فراهم عناصر غذایی

همان‌طور که مطالب ارائه شده در مورد هریک از چهار عنصر ترکیبی خاک را مطالعه کردید، ممکن است توجه نموده باشید که اثرات هر یک از این عناصر بر خصوصیات خاک به‌ندرت مستقل از بقیه خصوصیات بیان شده باشد. هر چهار عنصر بر همدیگر اثرات متقابل داشته و سرشت یک خاک را مشخص می‌سازد. بنابراین رطوبت خاک که مستقیماً نیاز گیاهان را به آب فراهم می‌کند، به‌طور همزمان بیشتر هوای خاک و فراهم عناصر غذایی را برای ریشه گیاهان فراهم می‌کند. ذرات معدنی به‌خصوص ذرات ریز محلول خاک را جذب کرده و بنابراین حرکت و قابلیت استفاده آن را به‌وسیله گیاهان مشخص می‌سازد. به‌همین ترتیب ماده‌ی آلی به‌دلیل قدرت اتصال دادن فیزیکی در طرز قرار گرفتن ذرات معدنی در دسته‌های خاص مؤثر بوده و مقدار منافذ درشت خاک را افزایش می‌دهد و بنابراین در روابط آب‌وهوا مؤثر می‌باشد.

قابلیت استفاده‌ی عناصر اصلی

شاید مهمترین اثرات متقابل فرایندهای موجود در چهار عنصر ترکیبی خاک عرضه‌ی عناصر غذایی اصلی برای نباتات باشد. نباتات عناصر غذایی اصلی را همراه آب از یکی از این چهار عنصر یعنی محلول خاک جذب می‌کند. مقدار عناصر اصلی در محلول خاک گرچه در هر زمان بسیار کمتر از مقدار مورد نیاز برای تولید یک محصول کامل است جبران عناصر غذایی محلول خاک باید مداوماً از بخشهای آلی و معدنی خاک و کودهای شیمیایی و یا کودهای دامی انجام گیرد.

خوشبختانه مقدار زیادی از این عناصر غذایی همراه مواد جامد معدنی و آلی خاک می‌باشند. عناصر غذایی به‌وسیله‌ی یک سری از واکنش‌های شیمیایی و زیست شیمیایی از اشکال جامد برای جبران آن‌ها در محلول خاک آزاد می‌شوند. برای مثال، طی تبادل یونی عناصر اصلی مانند کلسیم (Ca^{2+}) و پتاسیم (K^+) از سطح کلوییدی رس و هموس به‌داخل محلول خاک آزاد می‌شوند. تماس نزدیک بین یون‌های محلول خاک و یون‌های جذب‌شده در سطح کلویید این تبادل را امکان‌پذیر می‌سازد. در مثال زیر یک یون H^+ در محلول خاک نشان داده شده است که به آسانی با یک یون K^+ بر روی سطح کلویید مبادله می‌شود. یون K^+ محلول برای جذب به‌وسیله گیاهان قابل استفاده می‌باشد.



یون K^+ آزاد شده به آسانی به‌وسیله گیاهان جذب می‌شود.^۱ بعضی از دانشمندان این تبادل یونی را یکی از مهمترین واکنش‌های شیمیایی در طبیعت می‌دانند.

یون‌های غذایی بر اثر تجزیه بافت‌های گیاهی به‌وسیله ریزجانداران خاک به‌داخل خاک آزاد می‌شوند. ریشه‌های گیاهان می‌توانند به آسانی تمام این عناصر غذایی را از محلول خاک جذب کنند به‌شرط آنکه مقدار O_2 در هوای خاک برای انجام سوخت‌وساز ریشه کافی باشد. بسیاری از خاک‌ها حاوی مقدار زیادی عناصر غذایی در ارتباط با نیازهای سالانه‌ی پوشش گیاهی می‌باشند هرچند بخش عمده عناصر غذایی در شبکه ساختمانی کانی‌های اولیه و ثانویه و ماده‌ی آلی نگهداری می‌شود. فقط بخش اندکی از عناصر غذایی خاک در اشکال قابل استفاده برای گیاهان یافت می‌شوند. جدول ۳-۱ برآوردی از میزان عناصر غذایی موجود در اشکال مختلف در خاک شاخص مناطق مرطوب و خشک می‌باشد. شکل ۲۴-۱ تشریح می‌کند که چگونه دو جزء جامد خاک یا جزء مایع (محلول خاک) برای فراهم کردن عناصر ضروری نبات در تعامل می‌باشند. ریشه‌های گیاه ذرات خاک را ولو هر چه کوچک جذب نمی‌کنند، بلکه فقط قادر است عناصری را که در محلول خاک حل شده‌اند جذب کنند.

از آن‌جاکه عناصر در بخش درشت خاک فقط به کندی و در طول زمان در محلول خاک آزاد می‌شوند، مقدار کل در اکثر عناصر غذایی خاک به آسانی برای گیاه قابل استفاده نمی‌باشد. عناصر غذایی در بخش کلوییدی خاک به‌دلیل سطح مخصوص زیاد آن‌ها بسیار سریعتر تجزیه شده و بنابراین آسان‌تر برای گیاه قابل استفاده می‌باشند. بنابراین، واحدهای ساختمانی کانی‌ها مخزن اصلی، و تا حدی یک منبع مهم از عناصر غذایی در بسیاری از خاک‌ها می‌باشند.

^۱ - واژه Adsorption به جذب یون‌ها در سطوح ذرات اطلاق می‌شود و درحالی که Absorbion فرایندی است که در طی آن یون‌ها به‌داخل ریشه نبات جذب می‌شوند. یون‌های جذب‌شده در سطح خاک با یون‌های محلول خاک قابل تبادل می‌باشند.

جدول ۱-۳ مقادیر ۶ عنصر اساسی که در خاک‌های شاهد در مناطق معتدل یافت می‌شود.

خاک مناطق خشک			خاک مناطق مرطوب			عناصر اصلی
محلول خاک kg/h	قابل تبادل kg/h	بخش جامد kg/h	محلول خاک kg/h	قابل تبادل kg/h	بخش جامد kg/ha	
۱۴۰-۲۸۰	۵۶۲۵	۲۰۰۰۰	۶۰-۱۲۰	۲۲۵۰	۸۰۰۰	Ca
۲۵-۴۰	۹۰۰	۱۴۰۰۰	۱۰-۲۰	۴۵۰	۶۰۰۰	Mg
۱۵-۴۰	۲۵۰	۴۵۰۰۰	۱۰-۳۰	۱۹۰	۳۸۰۰۰	K
۰.۱-۰.۲	---	۱۶۰۰	۰.۰۵-۰.۱۵	---	۹۰۰	P
۶-۳۰	---	۱۸۰۰	۲-۱۰	---	۷۰۰	S
۵-۲۰	---	۲۵۰۰	۷-۲۵	---	۳۵۰۰	N

توزیع عناصر غذایی در اجزاء مختلف یک خاک حاصلخیز همان‌طور که در شکل ۱-۲۴ تشریح شده، ممکن است به سهام سرمایه گذاری یک فرد ثروتمند تشبیه گردد. در این تشابه عناصر دارای سهولت قابلیت استفاده برای گیاهان همانند پول نقد موجود در جیب شخص می‌باشد. یک میلیونر احتمالاً اکثر سرمایه خود را در سرمایه‌گذاری طولانی مدت در اموال غیرمنقول و یا قراردادهای اختصاص داده است (بخش درشت جامد خاک)، درحالی‌که مقدار کمتری از سرمایه خود را برای خرید سهام کوتاه‌مدت باقی می‌گذارد. (بخش کلوییدی). برای استفاده‌های هرچه فوری‌تر مقدار کمی از سرمایه خود را به‌صورت چک مورد مصرف قرار می‌دهد (عناصر قابل تبادل) بخش بسیار اندکی از کل ثروت به‌صورت پول نقد مصرف می‌شود (عناصر غذایی در محلول خاک) به‌محض تمام شدن بخش نقدی جبران آن با کشیدن چک از حساب جاری عملی می‌شود. حساب جاری نیز گاه‌گاه به‌وسیله فروش از منابع سرمایه‌گذاری طولانی مدت جبران می‌شود. برای یک فرد ثروتمند حتی با داشتن اموال غیرمنقول خیلی زیاد ممکن است سرمایه نقدی در بعضی مواقع نقصان یابد مشابه این مورد. گیاه ممکن است عناصر غذایی قابل استفاده آسان را درحالی‌که مقدار کل این عناصر در داخل خاک خیلی زیاد شده تماماً مورد استفاده قرار دهد. خوشبختانه در یک خاک حاصلخیز فرایندهای تشریح شده در شکل ۱-۲۴ می‌تواند عناصر غذایی محلول خاک را با برداشت عنصر غذایی اصلی به‌وسیله ریشه گیاه هرچه سریع‌تر جبران کند.

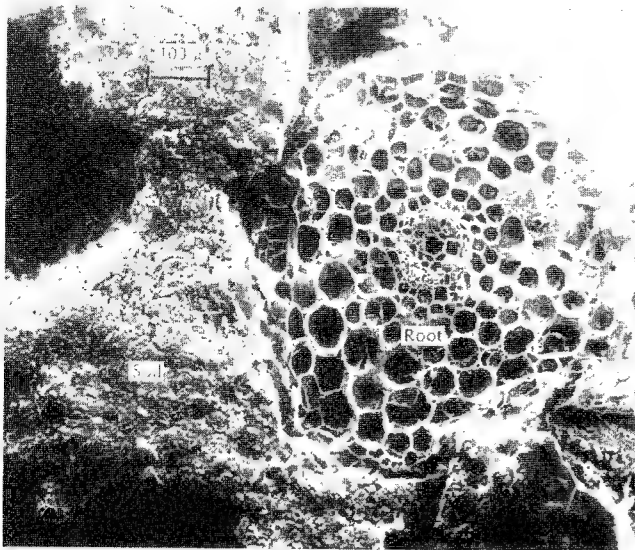


شکل ۱-۲۴ عناصر غذایی در شکل‌های مختلف با قابلیت استفاده‌های متفاوت برای ریشه نبات در داخل خاک وجود دارند. حجم زیادی از عناصر غذایی در ترکیب ساختمانی کاتیون‌های اولیه، ماده‌ای آلی، رس و هموس محبوس می‌باشند بخش کوچک‌تری از هر عنصر غذایی به‌طور مجتمع در نزدیک سطوح کلوییدی‌های خاک جذب سطحی شده‌اند از این گروه ین‌ها بخش کوچکی به‌داخل محلول خاک وارد شده و در آنجا به‌دنبال جذب ین‌های محلول به‌وسیله ریشه نبات جایگزین می‌گردند.

۱-۱۶ جذب عناصر غذایی به وسیله ریشه گیاهان

عنصر غذایی برای جذب به وسیله گیاه باید به صورت محلول بوده و در سطح ریشه قرار گرفته باشد. اغلب بخش هایی از ریشه گیاه چنان در ارتباط مستقیم با ذرات خاک می باشند (شکل ۱-۲۵) که امکان تبادل منظم بین عناصر غذایی جذب شده بر روی سطح کلویید خاک و یون H^+ در سطح دیواره سلول های ریشه فراهم می شود. در هر حال مقدار عناصر غذایی در تماس با سطح ریشه به زودی به اتمام خواهد رسید، این حقیقت این پرسش را مطرح می کند که چگونه ریشه می تواند مقادیر دیگر یون را در خاکی که یون های سطح ریشه همگی به وسیله ریشه جذب شده باشند مجدداً از خاک برداشت کند سه سازوکار اساسی که به وسیله آن ها غلظت عناصر غذایی در سطح ریشه حفظ می شود وجود دارد (شکل ۱-۲۶).

نخست میان راه قرار گرفتن ریشه^۱ هنگامی که ریشه ها مداوماً در داخل یک بخش جدید از خاک رشد می کنند می باشد. در اغلب موارد یون های غذایی باید فاصله ای چند را برای رسیدن به سطح ریشه طی کنند. این حرکت می تواند به وسیله جریان توده ای^۲ عناصر حل شده همراه با آب به طرف ریشه هنگام جذب فعال آب به وسیله گیاه صورت پذیرد. در این نوع حرکت یون های عناصر تا حدی شبیه برگ های شناور جاری به طرف پایین جریان می باشند. از طرف دیگر گیاهان می توانند به جذب عناصر غذایی در شب ها که آب به وسیله ریشه گیاه به کندی به داخل نبات نیز کشیده نمی شود ادامه دهند. یون های غذایی مداوماً به وسیله انتشار^۳ از مناطق دارای غلظت بیشتر به طرف مناطق تخلیه شده از عناصر غذایی با غلظت کمتر در اطراف سطح ریشه نبات در جریان می باشند.



شکل ۱-۲۵ یک ریز تصویر الکترونیکی منقطع از سطح مقطع ریشه ای بادام زمینی که به وسیله خاک در بر گرفته شده است به نزدیک بودن تماس توجه داشته باشید.

در فرایند انتشار حرکت تصادفی یون ها در تمام مسیرها سبب ایجاد خالص حرکت در مناطق دارای غلظت بیشتر به طرف مناطق با غلظت کمتر و مستقل از هر نوع حرکت توده ای آب که یون ها در داخل آن حل شده اند می باشد، عواملی مانند تراکم خاک، دمای پایین و میزان رطوبت اندک خاک که سبب کاهش رشد ریشه، جریان توده ای و یا انتشار می شود می تواند سبب جذب ناقص عناصر غذایی به وسیله نباتات حتی در خاک های دارای مقادیر قابل توجه عناصر غذایی محلول گردد. به علاوه قابلیت استفاده عناصر غذایی برای جذب می تواند به طور مثبت یا منفی تحت تأثیر ریزجانداران خاک که در نزدیکی ریشه زندگی می کند قرار گیرد. نگهداری میزان عناصر غذایی قابل استفاده در سطح ریشه نبات فرایندی است که در آن اثرات متقابل پیچیده ای در بین اجزاء مختلف خاک وجود دارد.

باید توجه داشت که غشاء سلول گیاهی که داخل ریشه گیاه را از محلول جدا می کند در مقابل یون های حل شده در شرایط خاص قابل نفوذ می باشد. گیاهان نمی توانند به آسانی یون های موجود در آبی که به وسیله جریان توده ای به وسیله ریشه از خاک برداشت می شود جذب کنند همین طور یون های حل شده را که به وسیله جریان توده ای و یا انتشار به سطح تماس آب و سطح ریشه آمده باشند نمی توانند

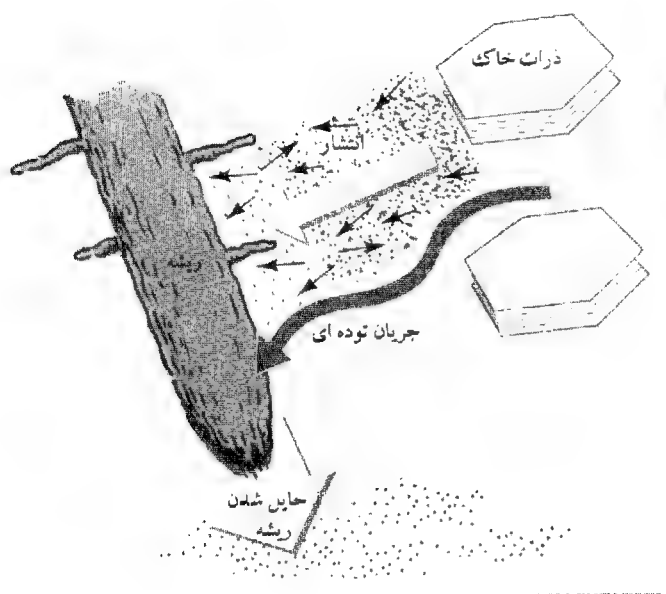
^۱ - Root Interception

^۲ - Mass Flow

^۳ - Diffusion

از داخل غشاء سلولی به صورت غیرفعال عبور دهند. برعکس یک عنصر غذایی وقتی جذب می‌شود که یک مولکول حامل شیمیایی در غشاء سلول ریشه یک ترکیب پیچیده‌ی فعال را با عنصر ایجاد کرده و پس از عبور از غشاء سلولی آنرا به داخل سلول ریشه قبل از رهاسازی آن انتقال دهد. سازوکار حامل که به وسیله‌ی انرژی سوخت‌وساز ریشه فعال می‌شود اجازه می‌دهد که غلظت‌های عناصر غذایی در داخل سلول ریشه به مراتب از غلظت عناصر غذایی در محلول خاک بیشتر باشد. از آن‌جاکه عناصر غذایی مختلف به وسیله مولکول‌های حامل خاص جذب می‌شوند گیاه می‌تواند تا حدی بر روی مقدار و مقدار نسبی عناصر غذایی جذب شده کنترل داشته باشد.

از آن‌جاکه جذب عناصر غذایی یک فرایند فعال سوخت‌وساز است، شرایطی که سبب توقف سوخت‌وساز ریشه می‌شود ممکن است جذب عناصر غذایی را نیز متوقف کند. نمونه‌هایی از این شرایط شامل میزان آب بیش از حد و تراکم خاک است که منجر به تهویه‌ی ضعیف، دمای بسیار بالا یا پایین خاک شده و یا شرایط در روی سطح زمین است که سبب جابه‌جایی اندک قند به ریشه‌ی گیاهان می‌گردد. ما خواهیم دید که تغذیه گیاهی شامل فرایندهای زیستی، فیزیکی و شیمیایی، و اثرات متقابل بسیاری از اجزاء مختلف خاک و محیط می‌باشد.



شکل ۱-۲۶ سه سازوکار اصلی که به وسیله‌ی آن‌ها یون‌های غذایی حل شده در تماس با ریشه گیاهان قرار می‌گیرد، سه سازوکار ممکن است همگی همزمان با هم عمل کنند. اما یک سازوکار ممکن است برای یک عنصر خاص مهم باشد. برای نمونه در مورد کلسیم که در محلول خاک فراوان وجود دارد جریان توده‌ای ممکن است آنرا به تنهایی به مقدار کافی به سطح ریشه گیاه برساند. اگر چه در مورد فسفر انتشار برای تکمیل جریان توده‌ای لازم می‌باشد، زیرا مقدار این عنصر در محلول خاک در مقایسه با مقدار مورد نیاز نبات پایین است.

۱۷-۱ کیفیت^۱ خاک، تخریب^۲ و اصلاح^۳

خاک یک منبع پایه است که شالوده‌ی تأثیر تمام بوم‌سامان‌های زمینی می‌باشد. خاک‌ها، در صورت مدیریت محتاطانه می‌توانند، قرن‌ها مورد استفاده قرار گیرند اما در مقیاس عمر بشری نمی‌توانند منبع تجدید شونده به حساب آیند. همانطوری که در فصل بعد خواهیم دید اکثر خاک‌های خشک هزاران سال است که در حال تشکیل می‌باشند. در تمام مناطق جهان فعالیت‌های بشر سبب تخریب خاک‌ها بسیار سریعتر از آنچه طبیعت می‌تواند دوباره ایجاد کند گردیده است. خاک‌های که بر اثر فرسایش کلاً از بین رفته، مورد حفاری قرار گرفته و یا با توسعه مناطق شهری زیر آسفالت قرار گرفته‌اند برای تمام مقاصد عملی از دست رفته می‌باشند اکثر اوقات خاک تماماً نابود نشده بلکه کیفیت آن دچار تخریب شده است.

کیفیت خاک : مقیاسی از توانایی خاک برای ایفای نقش‌های خاص بوم شناخت همانند آنچه که در فصل ۱-۲ تا ۱-۶ تشریح شد می‌باشد. کیفیت خاک بازتاب مجموعه‌ای از خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی می‌باشد. بعضی از این خصوصیات نسبتاً غیرقابل تغییر یا خصوصیات ذاتی می‌باشند که برای تشخیص یک خاک به خصوص به ما کمک می‌کنند. بافت خاک و ترکیب کانی‌ها (بخش ۱-۱۱) نمونه‌های از این خصوصیات می‌باشند. سایر خصوصیات خاک مانند ساختمان (بخش ۱-۱۱) و میزان ماده‌ی آلی (بخش ۱-۱۲) می‌توانند

^۱ - Soil Quality

^۲ - Degradation

^۳ - Resilience

به‌وسیله مدیریت به‌طور قابل ملاحظه‌ای تغییر یابند. این خصوصیات خاک که بیشتر قابل تغییر می‌باشند می‌توانند وضعیت کیفیت خاک را در ارتباط با انرژی آن مشخص کنند، همان‌طور که گل آلودگی و میزان اکسیژن می‌تواند وضعیت کیفیت آب رودخانه را مشخص کند. مدیریت بی‌رویه جنگل، مزارع و مراتع سبب تخریب کیفیت خاک به‌وسیله فرسایش می‌شود که اندک‌اندک خاک سطحی را از بین می‌برد (فصل ۱۷). دیگر علت گسترده‌ی تخریب خاک تجمع نمک در خاک‌های تحت آبیاری نامناسب در مناطق خشک است. وقتی مردم خاک‌ها را مورد کشت و کار قرار می‌دهند و محصول را بدون برگردان پس‌مانده‌های گیاهی و عناصر غذایی تماماً برداشت می‌کنند، مواد آلی و عناصر غذایی خاک تخلیه می‌شود (فصل ۱۲ را مشاهده کنید). این تخلیه به‌خصوص در اراضی نیمه صحرایی آفریقا که تخریب کیفیت اراضی در کاهش ظرفیت تولید مواد غذایی تجلی یافته است بسیار گسترده می‌باشد (فصل ۲۰ را مطالعه کنید). پلشتی خاک با مواد سمی حاصل از فرایندهای شیمیایی و یا پس‌مانده‌های شیمیایی می‌تواند ظرفیت خاک را در فراهم‌ماوا برای ریز جانوران، تولید گیاهان سالم از نظر خوردنی و یا تغذیه سالم آبهای سطحی و زیرزمینی تخریب کند. (فصل ۱۸ را مشاهده کنید). تخریب کیفیت خاک به‌وسیله آلودگی اغلب موضعی است، اما اثرات زیست محیطی و هزینه‌های موجود آن بسیار زیاد است.

درحالی‌که حفظ کیفیت خاک باید در اولویت نخست باشد، اغلب لازم است که برای اصلاح کیفیت خاک‌های قبلاً تخریب شده کوشش کنیم. بعضی خاک‌ها دارای ظرفیت کافی برای برگشت به‌حالت اول بعد از یک تخریب کم در صورت امکان تجدید پوشش بر روی آن‌ها می‌باشند. در سایر موارد تلاش بیشتری برای اصلاح خاک‌های تخریب‌شده باید بعمل آید. مواد اصلاح‌کننده آلی و معدنی ممکن است استعمال گردیده، پوشش بازکاری شده، تغییرات فیزیکی به‌وسیله خاکورزی و یا تسطیح انجام شده و مواد آلاینده ممکن است از محل برده شوند. با ارزیابی خسارت ایجاد شده قبلی به‌وسیله جوامع در سرتاسر جهان از منابع خاک‌های خود، حرفه‌ی اصلاح خاک به یک اشتغال جدی تبدیل خواهد شد.

۱۸-۱ نتیجه‌گیری نهایی

خاک همانند آب و هوا یک منبع طبیعی اصلی است. خاک سطح زمین از خاک‌های انفرادی بسیار متعددی تشکیل شده است که هر یک جسم سه بعدی در زمین‌نما می‌باشند. هر خاک انفرادی به‌وسیله مجموعه‌ای از خصوصیات انحصاری و افق‌های خاک تشریح شده در خاکرخ آن مشخص می‌شود. سرشت لایه‌های خاک مشاهده شده در خاکرخ در ارتباط نزدیک با سرشت شرایط طبیعی منطقه می‌باشد. خاک‌ها نقش عمده در بوم‌سامان ایفا می‌کنند: آن‌ها به‌عنوان محیط اصلی برای رشد ثبات عمل می‌کنند، خاک‌ها میزان آب را تنظیم کرده، مواد خام و مواد زاید را در چرخه‌ی مجدد قرار می‌دهند. خاک‌ها به‌عنوان یک ماده‌ی مهم مهندسی برای سازه‌های انسان ساخت بکار می‌روند. خاک‌ها همچنین مأوای بسیاری از موجودات جاندار هستند. خاک بنابراین به نوبه‌ی خود یک بوم‌سامان عمده می‌باشد. خاک‌های جهان بسیار متنوع هستند. یک خاک خاص به‌وسیله مجموعه‌ای از افق‌های خاک مشخص می‌شود. یک خاک سطحی شاخص با شرایط فیزیکی مناسب برای رشد گیاه دارای نصف حجم مواد جامد (عمدتاً مواد معدنی اما با مقدار ماده‌ی آلی لازم) و نصف حجم منافذ خالی می‌باشد که به‌وسیله نسبت‌های مختلفی از آب و هوا پر شده است. این اجزاء بر روی همدیگر در تعامل بوده و هزاران نقش پیچیده را در خاک ایجاد می‌کنند که درک مناسب آن برای مدیریت عاقلانه منابع زمینی ما لازم می‌باشد.

سوالات بر مطالعه

- ۱- به‌عنوان یک جامعه آیا ارتباط ما با خاک‌ها به‌نظر می‌رسد در دهه‌های آینده افزایش یابد یا کاهش پیدا کند؟
- ۲- تشریح کنید که چگونه یک خاک یک جسم طبیعی با خاک ماده‌ای که برای ساختن یک بستر جاده فرق می‌کند.
- ۳- پنج نقش عمده خاک در بوم‌سامان کدامها می‌باشند. برای هر یک از این نقش‌های بوم شناخت راهی مطرح کنید که با نقش‌های دیگر ارتباط متقابل داشته باشد.
- ۴- به فعالیت خود در هفته‌ی گذشته فکر کنید. وقایعی را تا آنجا که می‌توانید نام ببرید که در آن به‌طور مستقیم و غیرمستقیم با خاک ارتباط داشته‌اید.
- ۵- شکل ۱۷-۱ ترکیب حجمی یک خاک لوم سطحی که در شرایط آرمانی برای رشد ثبات می‌باشد نشان داده است، برای کمک به فهم شما از رابطه بین چهار اجزاء، این تابلو را با فرض این‌که خاک کاملاً به‌وسیله ترافیک سنگین متراکم شود دوباره ترسیم کنید. تابلو اصلی را دوباره با فرض ارتباط اجزاء بر حسب جرم (وزن) نه بر اساس حجم ترسیم کنید؟

- ۶- با کلمات خاص خود بیان کنید که چگونه عرض‌های عناصر خاک در اشکال مختلف شبیه به درآمدهای مالی یک شخص از راههای مختلف انجام می‌گیرد؟
- ۷- عناصر غذایی اصلی را که گیاهان عمدتاً از خاک به دست می‌آورند نام ببرید.
- ۸- آیا تمام عناصر موجود در گیاهان عناصر اصلی می‌باشند؟ توضیح دهید؟
- ۹- واژه‌های: بافت خاک، ساختمان خاک، pH خاک، هوموس، خاکریز خاک، افق B، کیفیت خاک، سولوم و ساپرولیت را تعریف کنید؟
- ۱۰- چهار فرایند را شرح دهید که به‌طور معمول سبب تخریب کیفیت خاک می‌شود؟

و آن، شعر زندگی است نه یک ترانه حماسه‌ای آرام که
ضرباهنگ آن را قرن‌ها تجارب جهانی بنیاد نهاده است.
جمن مچتر

فصل دوم

تشکیل خاک‌ها از مواد مادری

نخستین فضانوردان کاشف ماه، در لباس‌های تحت فشار بدقواره برای جمع‌آوری نمونه‌هایی از سنگ و گرد سطح ماه کوششی فراوان کردند. این نمونه‌ها برای تجزیه به زمین آورده شدند. روشن گردید که سنگ‌های ماه دارای ترکیب مشابه با سنگ‌های موجود در عمق زمین می‌باشد، چنان شبیه که دانشمندان استنتاج کردند که ماه به‌صورت یک قطعه‌ی بزرگ مذاب میلیاردها سال قبل از زمین جدا شده است، هنگامی که نوسپاره‌ی زمین در یک برخورد سرسام‌آور با جسمی در اندازه‌ی مریخ تقریباً به‌صورت مذاب درآمد و اقیانوس کبیر به‌عنوان اثرات آن برخورد، باقی ماند. در ماه سنگ یا تغییر نکرده باقی مانده و یا در اثر برخورد شهاب‌سنگ‌ها به‌صورت گردوغبار درآمد است. در زمین سنگ‌های سطحی در تماس با آب و هوا و موجودات زنده به یک جسم جدید یا انواع خاک‌های زنده تبدیل شده است. این فصل داستان چگونگی تبدیل سنگ‌ها و خاک سنگ‌ها را به پوسته‌ی شورانگیز بیرونی زمین بازگو می‌کند.

ما فرایندهای تشکیل خاک را از رگولیت نسبتاً یکنواخت و لایه‌های رنگارنگ خاک‌رخ مطالعه می‌کنیم. همچنین درباره‌ی عوامل محیطی مؤثر در این فرایند یاد خواهیم گرفت که چگونه آن‌ها سبب تشکیل خاک‌های بسیار متفاوت در کشور بلژیک در مقایسه با کشور برزیل می‌شود، و خاک‌های تکامل‌یافته از آهک چنان با خاک‌های تشکیل‌شده از ماسه‌سنگ تفاوت داشته، و خاک‌های کف دره‌ها با خاک‌های تپه‌ها مغایرت آشکار دارند.

هر زمین‌نما از مجموعه‌ای از خاک‌های متفاوت تشکیل‌شده است که هریک در فرایندهای بوم‌شناخت به روش خود مؤثر است. آیا این‌که قصد داریم زمین‌نما را تغییر دهیم، از آن استفاده کنیم، آنرا حفظ کرده و یا صرفاً مطالعه و درک کنیم، موفقیت ما به‌طور کلی وابسته به میزان دانش ما درباره‌ی چگونگی ارتباط خاک‌رخ با محیط هر منطقه و زمین‌نما می‌باشد.

۱-۲- هوادیدگی سنگ‌ها و کانی‌ها

تأثیر هوادیدگی، به‌خصوص تخریب فیزیکی و شیمیایی ذرات در هرجا آشکار است و هیچ شیی نمی‌تواند از دست آن خلاصی یابد. هوادیدگی سبب تخریب سنگ‌ها و کانی‌ها گردیده خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن‌ها را ویران ساخته و یا تغییر داده و سبب جداسازی محصولات محلول و همچنین بازساخت کانی‌های جدید پراهمیت می‌شود. نرخ هر یک از این دو فرایند (تخریب و بازساخت) به‌وسیله‌ی سرشت سنگ‌ها و کانی‌های تحت تأثیر مشخص می‌شود (شکل ۱-۲).

خصوصیات سنگ‌ها و کانی‌ها

سنگ‌ها در سطح خارجی زمین معمولاً به سنگ‌های آذرین، رسوبی و دگرگونی تقسیم می‌شوند. سنگ‌ها با منشاء آذرین از مواد مذاب تشکیل شده و شامل سنگ‌های معمولی، مانند گرانیت و دیوریت می‌باشند (شکل ۲-۲).

سنگ‌های آذرین از کانی‌های اولیه^۱ دارای رنگ روشن، مانند کوارتز، مسکویت، فلدسپار، و کانی‌های تیره‌رنگ مانند پیریت، اگیت و هورنبلند تشکیل شده‌اند. به‌طورکلی، گابرو و بازالت که تیره‌رنگ بوده و از کانی‌های با سهولت هوادیدگی حاوی آهن و منیزیم تشکیل شده‌اند، آسان‌تر از گرانیت، و دیگر سنگ‌های دارای رنگ روشن تخریب می‌شوند. بلورهای کانی در سنگ‌های آذرین به‌طور تصادفی توزیع یافته، درهم ادغام شده، و یک ظاهر نمک فلفلی را در صورت درشت‌بودن دانه‌های بلور که با چشم غیرمسلح قابل مشاهده است ارائه می‌دهند (شکل ۳-۲-۳).

سنگ‌های رسوبی جدید از تراکم و سیمانی‌شدن مجدد محصولات حاصل از هوادیدگی دیگر سنگ‌های کهن ایجاد شده‌اند. برای مثال شن کوارتزی حاصل از هوادیدگی گرانیت که در ساحل یک دریای ماقبل تاریخ قرار دارد ممکن است در طی تغییرات زمین‌شناسی سیمانی

^۱ - Primary Minerals

گردیده و تشکیل یک توده‌ی سخت به اسم ماسه‌سنگ^۱ دهد. به همین ترتیب رس‌های دوباره سیمانی‌شده پلمه‌سنگ^۲ نامیده می‌شوند. سایر سنگ‌های مهم رسوبی همراه با کانی‌های غالب آن‌ها در جدول ۲-۱ آمده‌اند.



شکل ۲-۱ دو سنگ قبر نوشته که در یک روز در یک قبرستان عکسبرداری شده است. اثر نوع سنگ را بر میزان هوادیدگی نشان می‌دهد. تاریخ و وقایع حفاری‌شده در سنگ‌لوح^۳ در سال ۱۷۹۸ هنوز آشکار و روشن است درحالی‌که تاریخ و سال که در سال ۱۸۷۵ در مرمر کنده شده‌است به‌طورکلی هوادیده و شناخته نمی‌شود. سنگ لوح دارای کانی‌های مقاوم رس سیلیکاتی است درحالی‌که مرمر عمدتاً شامل کلسیت است که بسیار آسان‌تر به‌وسیله‌ی اسید موجود در آب باران مورد تهاجم قرار می‌گیرد.

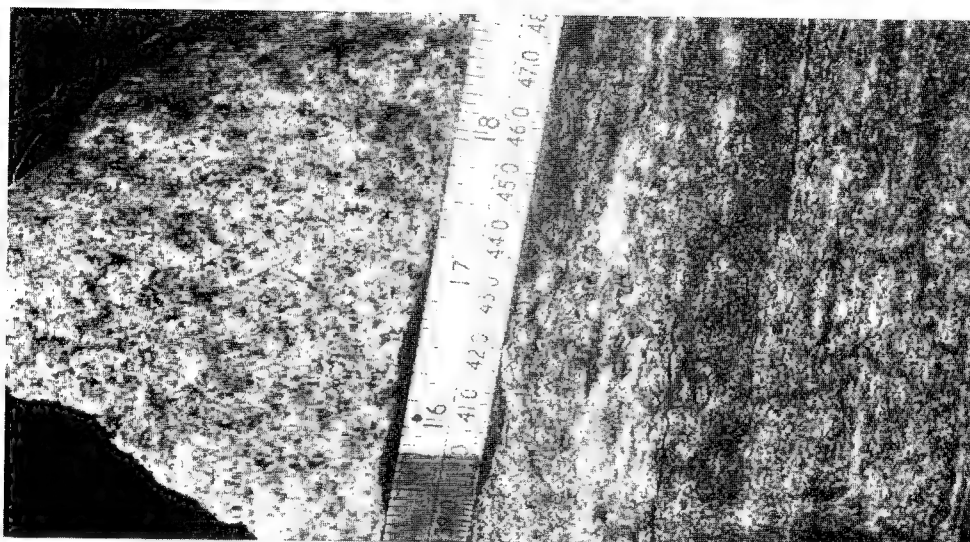
بافت سنگ	کانی‌های دارای رنگ تیره مانند			
	کانی‌های دارای رنگ روشن مانند		هورنبلند، اگیت، پیوتیت	
	کوارتز	فلدسپار، مسکویت	گاپرو	پریدوتیت، هورنبلند
درشت	گرانیت	دیوریت	بازالت	
متوسط	ریولیت	اندریت	شیشه‌ی بازالت	
ریز	ابسیدین / فلسیت			

شکل ۲-۲ طبقه‌بندی بعضی از سنگ‌های آذرین در رابطه با ترکیب کانی‌شناسی و اندازه ذرات کانی در سنگ (بافت سنگ) در سرتاسر دنیا کانی‌های دارای رنگ روشن و کوارتز از کانی‌های دارای رنگ تیره فراوان‌تر می‌باشند.

^۱ -Sandstone

^۲ -Shale

^۳ -Slate



شکل ۲-۳ کانی‌های اولیه به‌طور تصادفی در سنگ‌های آذرین درهم ادغام شده‌اند همانند سنگ سینیت در سمت چپ عکس. دما و فشار بالا ممکن است سبب ذوب مجدد سنگ و جداسدن کانی‌های سبک از کانی‌های سنگین‌تر شود. بنابراین ایجاد نوارهایی سیاه و سفید کرده که مختص سنگ نیس^۱ یک سنگ دگرگونی می‌باشد (عکس سمت راست) در این حالت کانی اولیه هر دو سنگ مشابه بوده کانی با رنگ روشن عمدتاً ارتوکلاز و کانی تیره هورنبلند است.

جدول ۱-۲ بعضی از سنگ‌های مهم رسوبی و دگرگونی و کانی‌های که معمولاً در آن‌ها یافت می‌شود.

کانی‌های غالب	سنگ رسوبی	سنگ دگرگونی
کلسیت CaCO_3	سنگ آهک	مرمر
دولومیت $\text{CaCO}_3\text{MgCO}_3$	دولومیت	مرمر
کوارتز	ماسه سنگ	کوارتزیت
رس‌ها	پلمه سنگ	سنگ‌لوح
متفاوت	جوش سنگ (الف)	نیس (ب)
متفاوت	—	شیست (ب)

الف - سنگ‌های کوچک با ساختار کانی‌شناسی متفاوت به‌صورت جوش سنگ سیمانی شده‌اند.

ب - کانی‌های موجود به‌وسیله سنگ اصلی مشخص می‌شوند که در دگرگونی تغییر یافته است، کانی‌های اولیه در سنگ‌های آذرین معمولاً در این سنگ‌ها غالب می‌باشند، گرچه بعضی از کانی‌های ثانویه نیز وجود دارند.

برای آن‌جا که اکثر مناطقی که در حال به‌صورت اراضی خشک می‌باشند، زمانی در گذشته از آب پوشیده شده بودند. به‌سبب سنگ‌های رسوبی معمول‌ترین سنگ‌هایی است که در این مناطق با آن‌ها مواجه می‌شویم. این سنگ‌ها ۷۵ درصد سطح زمین را پوشانده‌اند. مقاومت یک سنگ رسوبی به هوادیدگی به‌وسیله کانی‌های خاص غالب آن و عامل سیمانی شدن مشخص می‌شود.

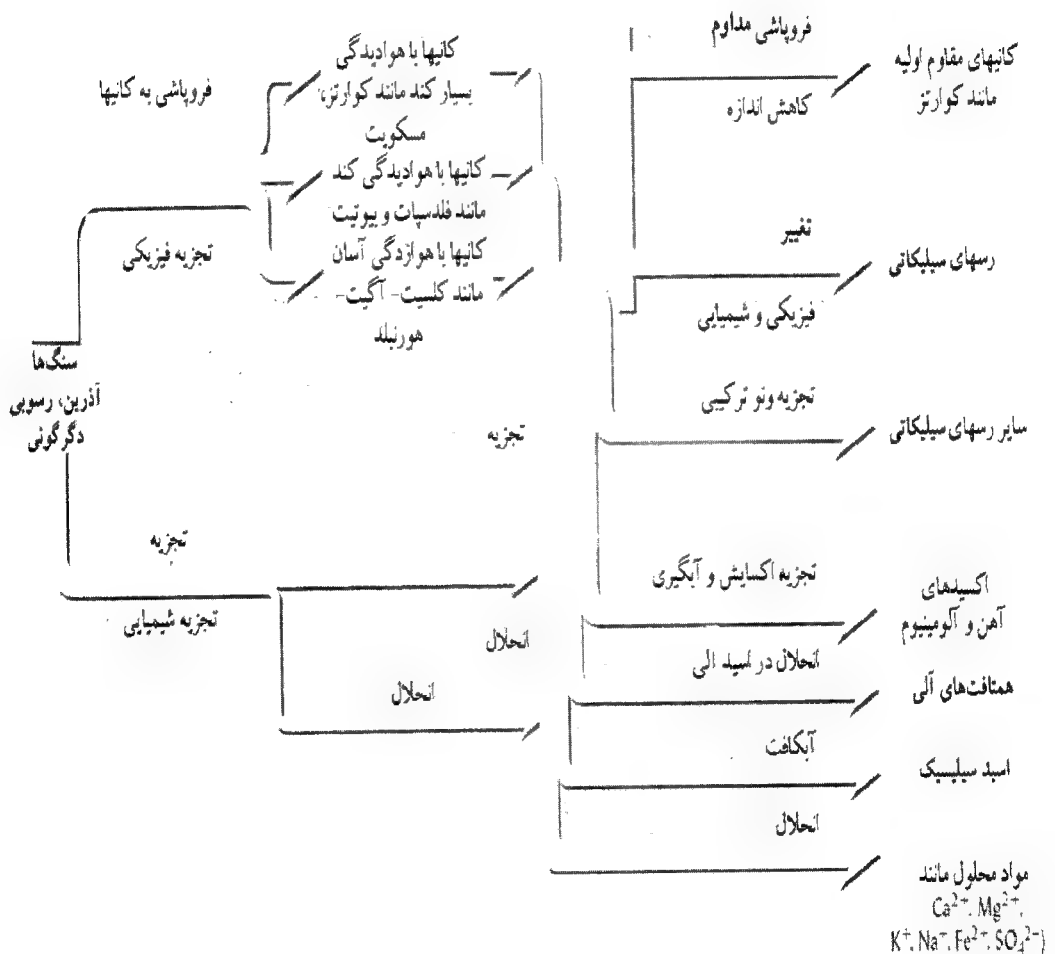
سنگ‌های دگرگونی سنگ‌هایی هستند که بر اثر دگرگونی و یا تغییر شکل در سنگ ایجاد شده‌اند. توده‌های سنگ‌های آذرین و رسوبی برای تبدیل شدن به سنگ‌های دگرگونی باید تحت فشار و دمای بالا قرار گیرند

با حرکت و برخورد صفحات قاره‌ای بر روی هم نیروهایی ایجاد می‌شود که می‌تواند سبب بالا آمدن رشته کوه‌های مرتفع گردد. در نتیجه، توده‌های آذرین و رسوبی تحت تأثیر گرما و فشار عظیم قرار گرفته و سبب تراکم، جابه‌جایی و یا ذوب نسبی سنگ‌های اولیه می‌شود. سنگ‌های آذرین معمولاً ممکن است به نیس و شیش تبدیل شوند که در آن کانی‌های سفید و روشن در نوارهایی قرار می‌گیرند (شکل ۲-۳) سنگ‌ها با منشاء رسوبی مانند ماسه و پلمه سنگ ممکن است به کوارتزیت و سنگ‌لوح تبدیل شوند. بعضی از سنگ‌های دگرگونی معمولی در جدول ۱-۲ نشان داده شده است. همانند سنگ‌های آذرین و رسوبی، کانی و یا کانی‌های خاص که در یک سنگ

دگرگونی مورد نظر غالب می‌باشند در مقاومت آن به هوادیدگی مؤثر می‌باشند (جدول ۲-۲ و شکل ۲-۱ را مشاهده کنید) دگرگونی شدید نیز ممکن است از نظر فیزیکی سبب تضعیف توده سنگ و تسریع تخریب آن به قطعات کوچک‌تر شود.

هوادیدگی یک حالت عمومی

هوادیدگی ترکیبی از فرایندهای تخریب و بازسازی مجدد (شکل ۲-۴) می‌باشد در شکل، هوادیدگی با حرکت از چپ به راست سنگ‌ها و کانی‌های اولیه بر اثر خردشدن فیزیکی و یا تجزیه‌ی شیمیایی مشخص می‌شود. خردشدن فیزیکی بدون تغییر قابل ملاحظه در ترکیب سنگ آنرا به قطعات کوچک‌تر و نهایتاً به ذرات شن و لای که معمولاً از کانی‌های انفرادی تشکیل شده‌اند تبدیل می‌کند. همزمان با تخریب فیزیکی، کانی‌ها به‌طور شیمیایی تجزیه‌شده و سبب آزادشدن مواد محلول و بازسازی کانی‌های جدید می‌شود که بعضی از آن‌ها محصولات مقاوم نهایی می‌باشند. در طول تجزیه شیمیایی اندازه‌ی ذرات مرتباً کاهش یافته و مواد متشکله به حل شدن در محلول هوادیدگی مایع ادامه می‌دهند. مواد حل شده ممکن است با زهاب خارج شده و یا طی نو ترکیبی به کانی‌های جدید (کانی‌های ثانویه) تبدیل شوند.



شکل ۲-۴ مسیرهای هوادیدگی که در اثر شرایط اسیدی متوسط در مناطق معتدل مرطوب صورت می‌گیرد. خردشدن سنگ‌ها به کانی‌ها یک فرایند فیزیکی است در صورتی که تجزیه، نو ترکیبی و انحلال فرایندهای شیمیایی می‌باشند. تغییر کانی‌ها شامل هر دو فرایند فیزیکی و شیمیایی می‌باشد توجه داشته باشید کانی‌های مقاوم اولیه، کانی‌های جدید ثانویه که با وقوع هوادیدگی بازسازی می‌شوند و مواد محلول محصولات هوادیدگی می‌باشند در مناطق خشک فرایند فیزیکی غالب بوده اما در مناطق مرطوب حاره‌ای تجزیه و نو ترکیبی غالب می‌باشد. به اهمیت آب در این ۶ نوع هوادیدگی شیمیایی که در سطور بعد تشریح خواهد شد توجه کنید.

سه گروه کانی که در خاک باقی می‌مانند در قسمت راست شکل ۲-۴ نشان داده شده‌اند که عبارتند از: ۱-رس‌های سیلیکاتی ۲-محصولات نهایی خیلی مقاوم مانند رس‌های اکسید آهن و آلومینیوم ۳-کانی‌های اولیه خیلی مقاوم مانند کوارتز. در خاک‌های بسیار هواپدیده‌ی مناطق مرطوب حاره‌ای، اکسیدهای آهن و آلومینیوم و رس‌های سیلیکاتی خاص، به نسبت Si/Al کم غالب می‌باشند زیرا اکثر اجزاء تجزیه شده و حذف گردیده‌اند.

دو فرایند اساسی خردشدن فیزیکی^۱ و تجزیه شیمیایی^۲ در تغییرات مشخص شده در شکل ۲-۴ حاضر می‌باشند. هردو فرایند مؤثر بوده و از چپ به راست در نمودار هواپدگی حرکت می‌کنند. خردشدن سبب کوچک شدن اندازه سنگ‌ها و کانی‌ها بدون تغییر قابل توجه در ترکیب آن‌ها می‌شود. گرچه در طی تجزیه تغییرات شیمیایی مشخصی صورت می‌گیرد، مواد محلول آزاد شده و کانی‌های جدید بازسازی می‌شوند که بعضی از آن‌ها محصولات نهایی مقاوم را ایجاد می‌کنند.

جدول ۲-۲ کانی‌های بسیار مهم اولیه و ثانویه در خاک‌ها که بر حسب درجه‌ی مقاومت به هواپدگی در تحت شرایط معمول در مناطق معتدل مرطوب دسته‌بندی شده‌اند (کانی‌های اولیه همچنین در سنگ‌های آذرین و دگرگونی به مقدار زیاد یافت می‌شوند کانی‌های ثانویه معمولاً در سنگ‌های رسوبی یافت می‌شوند).

کانی‌های ثانویه		کانی‌های اولیه	
بیشترین مقاومت	$FeOOH$	گوتیت	SiO_2
	Fe_2O_3	هماتیت	$KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2$
			$KAlSi_3O_8$
	$Al_2O_3 \cdot 3H_2O$	جیپسیت	$KAlSi_3O_8$
	سیلیکات‌های آلومینیوم	کانی‌های رس	$KAl(MgFe)_3Si_3O_{10}(OH)_2$
			$NaAlSi_3O_8$
			$Ca_2Al_2Mg_2Fe_3S_{16}O_{22}(OH)_2$ (الف)
			$Ca_2(Al,Fe)_4(Mg,Fe)_4Si_6O_{24}$
			$CaAl_2Si_2O_8$
			$(Mg,Fe)_2SiO_4$
	$CaCO_3 \cdot MgCO_3$	دولومیت (ب)	
	$CaCO_3$	کلسیت	
کمترین مقاومت	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	گچ	

الف - فرمول ارایه شده تقریبی است زیرا ترکیب کانی بسیار متغیر است.

ب - در چمن‌زارهای مناطق نیمه‌خشک دولومیت و کلسیت از آنچه مشخص شده است به دلیل میزان هواپدگی کربناتی شدن مقاومت به هواپدگی می‌باشند.

۲-۲ هواپدگی فیزیکی (خردشدن)

دما : در طول روز سنگ‌ها گرم شده و در شب‌ها بسیار پایین‌تر از دمای هوا سرد می‌گردند. گرم شدن سبب می‌شود که بعضی از کانی‌های سنگ بیشتر از دیگر کانی‌ها منبسط شود به همین ترتیب بعضی از کانی‌های سنگ طی سرد شدن بیشتر از دیگر کانی‌ها منقبض می‌شوند. با تغییر هر دما تنش‌های متفاوت ایجاد می‌شود که نهایتاً سبب ایجاد ترک و سبب شکسته شدن مکانیکی سنگ می‌شود، به خاطر ضریب پائین هدایت گرمایی سطح خارجی سنگ اغلب گرم‌تر و یا سردتر از بخش داخلی می‌باشد. این گرم و سرد شدن متفاوت سبب ایجاد تنش جانبی می‌شود که در طی زمان ممکن است سبب گردد که لایه‌های سطحی از توده سنگ اصلی پوسته پوسته شوند. این فرایند فرسایش پوست

¹ - Physical Disintegration

² - Chemical Decomposition

پیازی^۱ نامیده می‌شود که در بعضی مواقع با فرایند یخ زدن همراه بوده و یا تسریع می‌یابد (شکل ۵-۲ پایین). نیروی ایجاد شده به وسیله ی آب یخ زده معادل ۱۴۶۵ تن متر یک در متر مربع (Mgm^{-2}) و یا ۱۵۰ تن در فوت مربع است فشاری که سبب عریض تر شدن ترک‌ها در تخته سنگ‌های بزرگ و جداسازی ذرات کانی از قطعات کوچک‌تر سنگ می‌گردد (شکل ۶-۲ پایین).

سایش به وسیله ی آب، یخ و باد: آب حاصل از باران پس از برخورد به زمین سفر خود را به طرف اقیانوس آغاز می‌کند و مداوماً سبب جابه‌جایی، جداسازی و کار مجدد بر روی ته‌نشست‌هایی می‌شوند که خود حمل می‌کند. هنگامی که آب دارای بار رسوب باشد دارای قدرت فوق‌العاده‌ای برای برش می‌باشد (شکل ۶-۲ بالا). و این به صورت بریدگی‌ها و خندق‌ها و دره‌ها در سرتاسر جهان مشاهده می‌شود. گرد کردن سنگ‌های بستر رودخانه‌ها و ذرات شن ساحل شاهد دیگری برای نیروی ساینده ی آب در حال حرکت می‌باشد.

شن و ماسه بادرفته نیز می‌توانند سبب فرسایش سنگ‌ها در اثر عمل ساینده ی باد گردند. سنگ‌های گرد بادرفته بسیاری شاهد این عمل ساینده ی باد در نقاط خاصی از مناطق خشک می‌باشد. در مناطق یخچالی، توده‌های عظیم در حال حرکت یخ که در داخل آن‌ها قطعات سنگ و خاک جای گرفته است سبب آسیاب کردن سنگ‌ها در مسیر خود گردیده و حجم بزرگی از مواد را با خود حمل می‌کند (شکل ۱۰-۲). گیاهان و جانوران: ریشه ی گیاهان با ورود به درون ترک‌های سنگ اهرم‌دار آن‌ها را جدا ساخته و سبب خرد شدن آن‌ها می‌گردد. حیوانات حفار نیز می‌توانند تا حدی سبب تخریب سنگ شوند. این تأثیرات در مقایسه با اثرات بسیار شدید فیزیکی آب، یخ، باد و تغییرات دما در تولید مواد مادری خاک از اهمیت کمتری برخوردارند.

۳-۲ هوادیدگی شیمیایی (تجزیه)

در حالی که هوادیدگی فیزیکی در مناطق خشک سرد تشدید می‌شود، هوادیدگی شیمیایی در مناطقی که اقلیم گرم و مرطوب است بسیار شدید می‌باشد، گرچه هر دو فرایند با هم صورت گرفته و تمایل دارند یکدیگر را تشدید کنند.

هوادیدگی شیمیایی در حضور آب (با مواد حل‌شدنی متنوع در آن، اکسیژن، اسیدهای آلی و معدنی که حاصل فعالیت زیست شیمی است ارتقاء می‌یابد. این عوامل هماهنگ برای تبدیل کانی‌های اولیه (مانند فلوسیات و میکا) به کانی‌های ثانویه (رس‌های سیلیکاتی) و آزاد شدن عناصر غذایی در محلول (شکل ۷-۲) عمل می‌کنند.

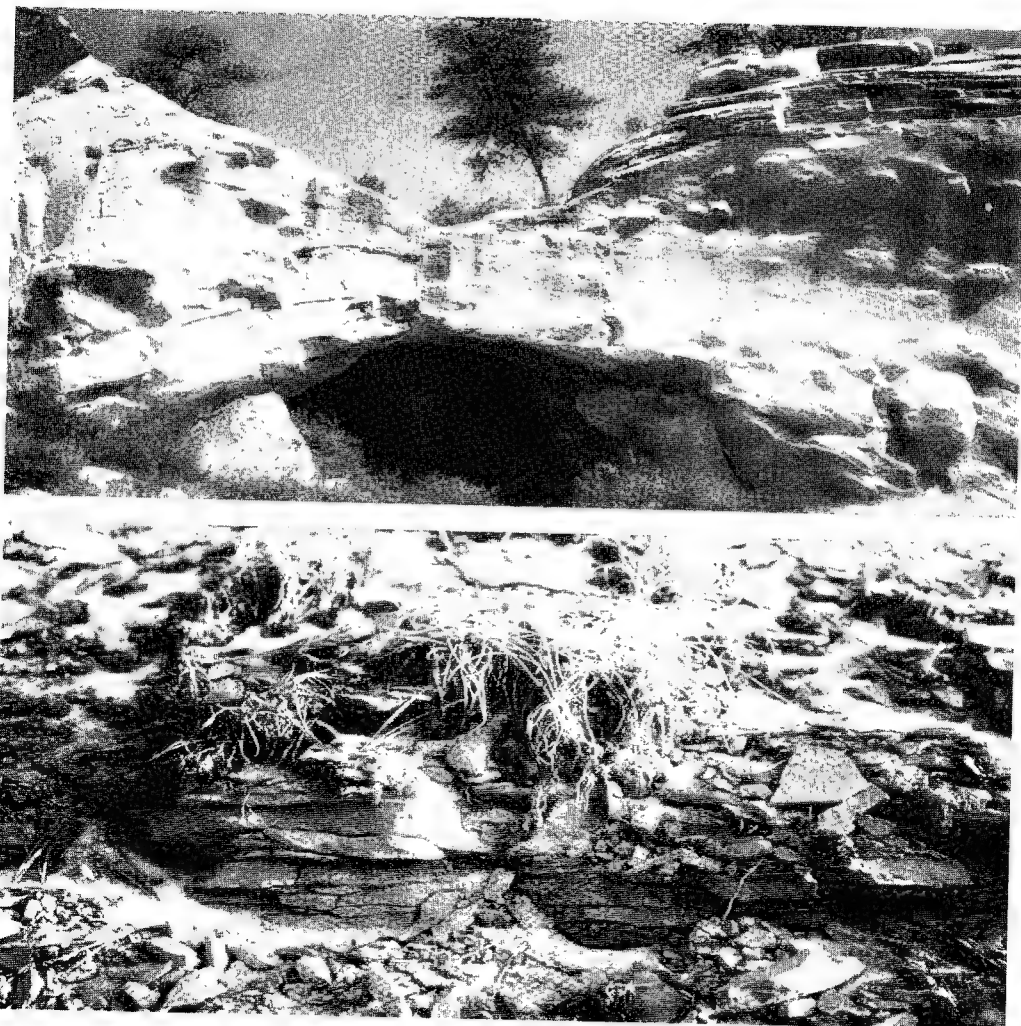
آبگیری^۲: مولکول‌های آب ممکن است در فرایندی بنام آبگیری در پیوند با یک کانی قرار گیرند



شکل ۵-۲ تشریح هوادیدگی سنگ‌ها در دو شکل (سمت چپ) تشریح هوادیدگی متمرکز بنام پوسته‌پوسته شدن که ترکیبی از هوادیدگی فیزیکی و شیمیایی بوده و تخریب فیزیکی را تشدید می‌کند و لایه‌های تشکیل می‌دهد که بسیار شبیه برگ‌های کلم می‌باشد. (سمت راست) نوارهای متمرکز از رنگ‌های روشن تیره که بیانگر هوادیدگی شیمیایی می‌باشد (اکسایش و آبگیری) که از خارج به داخل سنگ صورت می‌گیرد و تولید ترکیبات آهنی می‌کند که از نظر رنگ متفاوت می‌باشند.

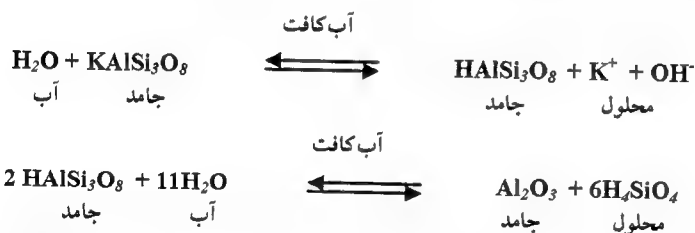
^۱ - Exfoliation

^۲ - Hydration

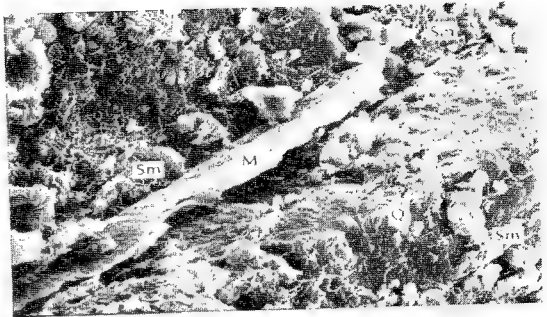


شکل ۶-۲ اثر آب در هوادیدگی و تخریب سنگ (عکس بالایی) شکل V شکل که به وسیله آب در این پرتگاه، ماسه سنگ در ایالت مونتانا حفر شده است بیانگر توان برشی آب حاوی رسوب می باشد. غار در پایین V به وسیله ی گردابه هایی زیر آبشار قدیمی ایجاد شده است (عکس پایینی) انبساط آب پس از یخ زدن، سنگ رسوبی اپالاچی را به قطعات کوچک تر خرد کرده است

اکسیدهای آبدار آهن و آلومینیوم مانند $(Al_2O_3 \cdot 3H_2O)$ بیانگر نمونه های حاصل از واکنش آبگیری است. آب کافت (هیدرولیز)؛ در واکنش آب کافت مولکول های آب به اجزای تشکیل دهنده ی آن هیدروژن و هیدروکسیل تفکیک می گردند. هیدروژن اغلب سبب جایگزینی یک کاتیون از ساختمان کانی می شود. مثال ساده اثر آب بر روی میکروکلین یک فلدسپات حاوی پتاسیم می باشد.



پتاسیم آزاد شده در محلول در معرض جذب کلوئیدهای خاک، جذب به وسیله ی نبات و یا هدررفت در آب زه کشی قرار می گیرد. همین طور اسیدسیلیسیک (H_4SiO_4) محلول است و می تواند به آزادی به وسیله ی آب زه کشی خارج شده و یا می تواند با سایر ترکیبات مانند رس های سیلیکاتی برای تشکیل کانی های ثانویه در نو ترکیب قرار گیرد.

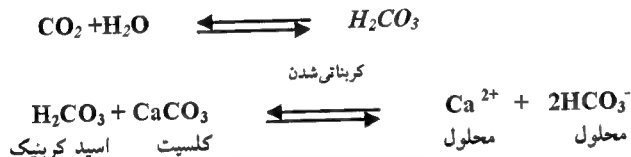


شکل ۷-۲ ریز عکس الکترونیکی منقطع که تشکیل رس‌های سیلیکاتی را از هوازدگی سنگ گرانیت در کالیفرنای جنوبی تشریح می‌کند (چپ) یک فلدسپار پتاسیم (K-Spar) نشان داده شده است که به وسیله رس‌های سیلیکاتی اسمکتیت (Sm) و ورمی کولیت (Vn) محاصره شده است (راست). میکا (M) و کوارتز (Q) با اسمکتیت (Sm) همراه می‌باشند.

انحلال^۱: آب قادر است که بسیاری از کانی‌ها را با آگیری کاتیون‌ها و آنیون‌ها در خود حل کند به‌طوری‌که آن‌ها از همدیگر جدا شده و به‌وسیله‌ی مولکول‌های آب احاطه می‌شوند. حل شدن گچ در آب نمونه‌ای از این فرایند است.



کربناتی شدن^۲ و سایر واکنشهای اسیدی : هوازدگی با حضور اسیدها که سبب افزایش فعالیت H در آب می شود تسریع می گردد. برای نمونه، وقتی گاز کربنیک در آب حل می شود (فرایندی که به وسیله ی تنفس میکروبی و یا تنفس ریشه نبات انجام می شود) و اسید کربنیک (H_2CO_3) تشکیل شده سبب افزایش انحلال کانی کلسیت سنگ آهک و یا مرمر می شود. همان طور که با پیشرفت واکنش زیر به سمت راست تشریح شده است

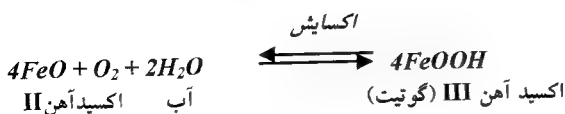


خاک‌ها همچنین دارای اسیدهای بسیار قوی‌تر مانند اسید نیتریک (HNO_3) اسید سولفوریک (H_2SO_4) و بسیاری اسیدهای آلی و همچنین یون هیدروژن روی رس‌ها می‌باشند، هر کدام از این منابع اسیدیته برای واکنش با کانی‌های خاک قابل استفاده می‌باشند.

اکسایش و کاهش^۳: کانی‌های که دارای آهن، منگنز و یا گوگرد می‌باشند به واکنش اکسایش و احیاء حساسیتی ویژه دارند. آهن در کانی‌های اولیه به صورت دو ظرفیتی Fe^{2+} (فرو) موجود است. وقتی سنگ‌های حاوی این کانی‌ها در طی فرایند خاک‌سازی در معرض هوا قرار می‌گیرند به آسانی اکسیده شده (الکترون از دست می‌دهند) و به سه ظرفیتی Fe^{3+} (فریک) تبدیل می‌شوند. اگر آهن Fe^{2+} به Fe^{3+} تبدیل شود تغییر در ظرفیت و شعاع یونی سبب بی‌ثبات شدن ساختمان کانی می‌شود.

در سایر موارد، FeII ممکن است از کانی آزاد شده و تقریباً همزمان به FeIII اکسید شده شود.

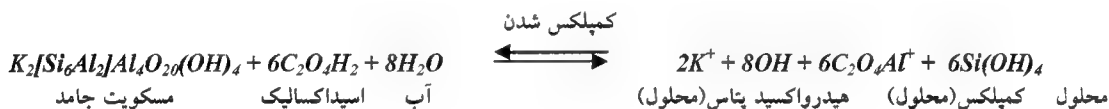
برای مثال آبیگری اولیوین سبب آزاد شدن اکسید فرو می شود که ممکن است بلافاصله به اکسی هیدراکسید فریک (گوئیت) تبدیل شود.

¹ - Dissolution

- Dissolution
- ² - Carbonation

- Carbonation
- ³ - OxidationReduction

اکسایش و یا حذف آهن در طول هوادیدگی اغلب به وسیله‌ی تغییر در رنگ کانی‌های تغییر یافته (شکل ۵-۲ راست) مشخص می‌شود. همتافت^۱: فرایندهای زیستی سبب تولید اسیدهای آلی مانند اسیداکسالیک، ستریک و تارتاریک و همچنین اسیدهومیک و اسید فولیک با مولکول‌های بسیار بزرگ‌تر می‌شود (بخش ۴-۱۲ را مطالعه کنید) که علاوه بر ارایه‌ی یون H^+ که سبب حل شدن آلومینیوم و سیلیس می‌شود، ترکیبات آلی پیچیده‌ای (کیلات) با آلومینیوم در داخل ساختمان کانی‌های سیلیکاتی ایجاد می‌کنند. این کار سبب برداشت Al^{3+} از کانی شده و کانی در معرض تخریب بیشتر قرار می‌گیرد. در مثال زیر اسیداکسالیک یک کمپلکس محلول با آلومینیوم حاصل از کانی مسکویت ایجاد می‌کند. پیشرفت این واکنش به سمت راست سبب تخریب ساختمان مسکویت و آزاد شدن یون‌های غذایی نبات یعنی پتاسیم می‌شود.



درنبود موجودات زنده در روی کروی زمین فرایند تخریب شیمیایی که هم اکنون بیان کردیم احتمالاً ۱۰۰۰ برابر آهسته‌تر به پیش می‌رفت که حاصل آن نرخ اندک تشکیل خاک و یا عدم تشکیل خاک در روی کروی زمین می‌بود.

فرایندهای جامع هوادیدگی: فرایندهای مختلف هوادیدگی شیمیایی همزمان صورت گرفته و وابسته به همدیگر می‌باشند. برای نمونه آب کافت یک کانی اولیه ممکن است سبب آزاد شدن آهن فرو Fe^{II} گردد که به سرعت به آهن فریک Fe^{III} تبدیل شده که آن نیز به نوبه خود آبگیری کرده و به هیدرواکسید آهن تبدیل شود. آب کافت و یا همتافت نیز ممکن است سبب آزاد شدن کاتیون‌های محلول و اسید سیلیسیک و ترکیبات آهن و آلومینیوم گردد. در محیط‌های مرطوب به نظر می‌رسد بعضی از کاتیون‌های محلول و اسیدسیلیسیک از توده‌ی هوازده به وسیله‌ی آب زه کشی خارج شوند. مواد آزاد شده ممکن است در ترکیب مجدد برای تشکیل رس‌های سیلیکاتی و سایر کانی‌های ثانویه قرار گیرند. بدین منوال، فرایندهای زیست شیمیایی هوادیدگی سبب تغییر شکل مواد زمین شناختی اولیه به ترکیباتی می‌شود که از آن‌ها خاک ایجاد می‌شود.

۴-۲ عوامل مؤثر تشکیل خاک^۲

در فصل اول آموختیم که خاک مجموعه‌ای از خاک‌های انفرادی هریک با خصوصیات خاکرخی متمایز است. این مفهوم خاک به عنوان یک جسم طبیعی سازمان یافته حاصل مطالعات گروه برجسته‌ی دانشمندان خاک شناس روس به رهبری دکوچایف^۳ می‌باشد. آن‌ها به لایه بندی مشابه خاکرخی در خاک‌هایی که دارای صدها مایل فاصله، اما دارای اقلیم و پوشش گیاهی یکسان بودند، پی بردند. چنین مشاهدات و تحقیقات بسیار دقیق صحرایی و آزمایشگاهی بعدی منجر به تشخیص ۵ عامل بود که تشکیل خاک‌ها را سامان می‌بخشند. این ۵ عامل عبارتند از:

- ۱- مواد مادری (مواد زمین شناختی و مواد آلی اولیه خاک).
- ۲- اقلیم (عمدتاً دما و بارندگی).
- ۳- موجودات زنده (پوشش گیاهی بومی، میکروبیها، جانوران خاک پرورندگان).
- ۴- پستی و بلندی (شیب، جهت و موقعیت زمین نما).
- ۵- زمان (مدتی که مواد مادری تحت اثر عوامل تشکیل خاک قرار گرفته است).

خاکها اغلب با واژه‌های از این عوامل چون "کالبدهای طبیعی" با ویژگی‌های ناشی از اثرات مشترک فعالیت‌های اقلیمی و زیستی دگرگون شده با پستی و بلندی که در طی زمان بر روی مواد مادری عمل می‌کنند. تعریف شده‌اند. حال چگونگی تأثیر هر کدام از این ۵ عامل را در تشکیل محصول نهایی خاک مورد آزمون قرار می‌دهیم. به هر صورت ما باید در خاطر داشته باشیم که این عوامل اثر خود را جداگانه اعمال نمی‌کنند در واقع، وابستگی آن‌ها به همدیگر قاعده‌ی اصلی است. برای نمونه بنظر می‌رسد رژیم‌های اقلیمی متفاوت با پوشش‌های گیاهی گوناگون و پستی و بلندی و مواد مادری متفاوت همراه باشند با این وصف در موارد خاص یکی از عوامل دارای تأثیر فراگیر در تعیین

¹ - Complexation

² - بسیاری از مفاهیم نوین در مورد عوامل تشکیل خاک از کارهای برجسته Hans Jenny دانشمند خاک شناس آمریکایی (آلمانی الاصل) حاصل شده که کتابهای او در

سال ۱۹۴۱ و سال ۱۹۸۰ چاپ شده و به عنوان کارهای نمونه در این زمینه به حساب می‌آیند.

³ - V.V. Dukochaev

تفاوت در بین مجموعه خاک‌ها می‌باشد. دانشمندان خاک‌شناسی به این مجموعه خاک‌ها لیتوسکانس^۱، کلیموسکانس^۲، بیوسکانس^۳، توپوسکانس^۴ و کروئوسکانس^۵ (به ترتیب یعنی توالی سنگی، اقلیمی، زیستی، پستی و بلندی و زمانی) گفته می‌شود.



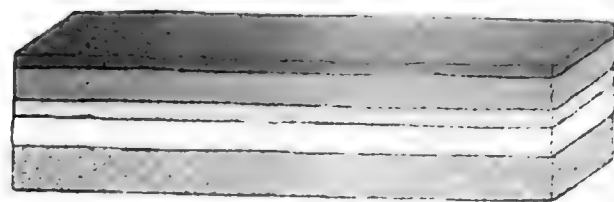
شکل ۸-۲ مراحل اولیه تکامل خاک، هوادیدگی زیست شیمیایی یک تخته سنگ، تحت تأثیر گلسنگ و خزه در یک اقلیم مرطوب. این گیاهان بیشتر تولید اسیدهای آلی می‌کنند که باعث تجزیه کانی‌ها در سنگ‌ها در اثر واکنش‌های آب‌کافت و کمپلکس کردن می‌باشند به سطح برداشت‌شده سنگ (پیکان) که در آن لایه خزه برای آشکارشدن بخش هوادیده زیر آن کنار زده شده است توجه کنید. مواد کانی مست حاصل و عناصر غذایی محلول همراه گردوغبار به دام افتاده و باقی‌مانده‌ی آلی خزه و گلسنگ نهایتاً بستر برای رشد گیاهان عالی ایجاد کرده که آن‌ها نیز به نوبه خود تشکیل خاک را بیشتر تسریع می‌کنند. مقیاس در عکس برحسب سانتی‌متر است.

۵-۲ مواد مادری

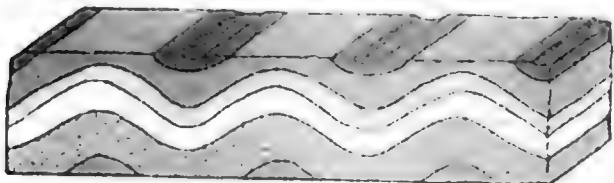
فرایندهای زمین‌شناسی مواد مادری متعددی را به سطح زمین آورده است که از آن خاک‌ها تشکیل می‌شوند (شکل ۹-۲). سرشت مواد مادری به‌طور بارز در خصوصیات خاک مؤثر است. برای مثال، یک خاک ممکن است بافت شنی (بخش ۲-۴) را از یک مواد مادری دانه درشت غنی از کوارتز مانند گرانیت و ماسه سنگ، به ارث برده باشد. بافت خاک حرکت آب را به طبقات پایین خاک و در نتیجه جابه‌جایی ذرات ریز خاک و عناصر غذایی مورد نیاز گیاه را سامان می‌بخشد. ترکیب کانی‌شناسی و شیمیایی مواد مادری می‌تواند به‌طور مستقیم در هوادیدگی مؤثر بوده و همزمان در پوشش طبیعی نیز مؤثر است. برای مثال حضور سنگ آهک در مواد مادری توسعه‌ی اسیدیته را به تأخیر می‌اندازد. فرایندی که در اقلیم مرطوب رخ می‌دهد، به‌علاوه، برگ‌های درختان در حال رشد بر روی سنگ آهک از نظر میزان کلسیم و سایر کاتیون‌های فلزی تشکیل دهنده باز غنی هستند، با مخلوط شدن این برگ‌های حاوی کاتیون‌های بازی زیاد و تجزیه آن‌ها فرایند اسیدی شدن را به تأخیر انداخته و در مناطق معتدل مرطوب پیشرفت در توسعه خاک را بیشتر به تأخیر می‌اندازد.

مواد مادری در مقدار و نوع کانی رسی موجود در خاک‌رخ نیز مؤثر می‌باشند. اول، مواد مادری خود ممکن است مقادیر و انواع متفاوتی از کانی‌های رسی را در چرخه‌ی قبلی هوادیدگی در برداشته باشد. دوم، سرشت ماده‌ی مادری تأثیر خیلی زیادی بر روی انواع رس‌های تشکیل‌شده در هنگام تکوین خاک دارد (بخش ۶-۸) و در مقابل سرشت کانی‌های رسی موجود به‌طور مشخص بر روی انواع خاک‌های تکامل‌یافته مؤثر است.

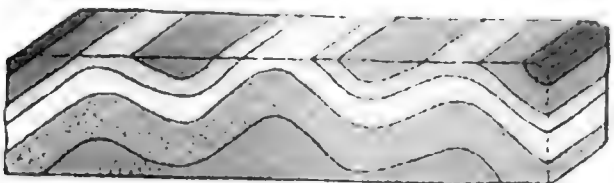
^۱ - Lithosequence
^۲ - Climosequence
^۳ - Biosequence
^۴ - Toposequence
^۵ - Chronosequence



(الف)



(ب)



(ج)



د

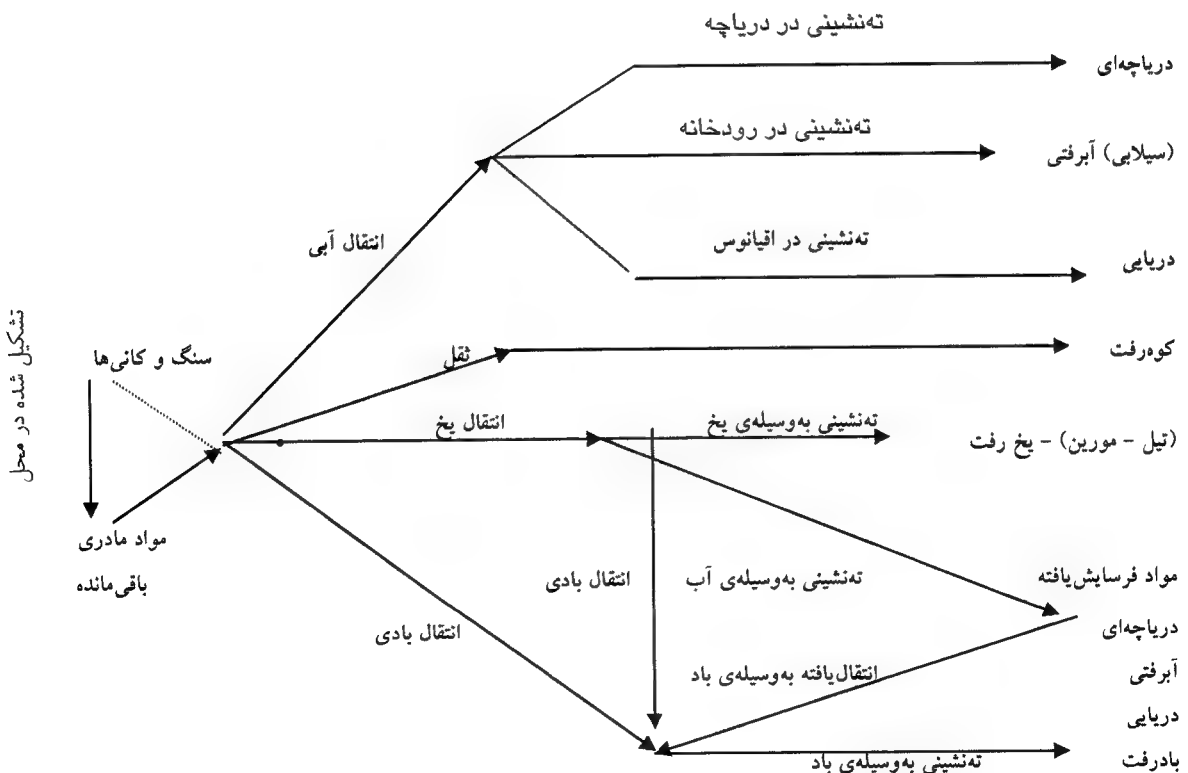
شکل ۹-۲ نمودارها نشان‌دهنده‌ی چگونگی بالا آمدن لایه‌های سنگ به سطح زمین در یک منطقه به‌خصوص به‌وسیله‌ی فرایندهای زمین‌شناسی. (الف) لایه‌های تغییر نیافته‌ی سنگ رسوبی که فقط لایه فوقانی آن آشکار شده است (ب) فشارهای جانبی زمین‌شناسی لایه‌های سنگ را در طی خمش پوسته‌ای^۱ تغییر می‌دهند. در همان مدت فرسایش قسمت اعظم لایه سطحی را از بین می‌برد و اولین لایه‌ی زیرین را آشکار می‌سازد. (ج) فشارهای رو به بالای محلی لایه‌ها را بیشتر تغییر داده و بنابراین دو لایه زیرین دیگر را آشکار می‌سازند. هوادیدگی این چهار لایه آشکار شده سبب ایجاد ماده‌ی مادری می‌گردد که بر روی آن‌ها می‌توانند خاک‌های مختلف ایجاد شوند. (د) خمش پوسته‌ای که سبب بالا آمدن کوه‌های اپالاچی شده است، این سنگ‌های رسوبی را که زمانی افقی ته‌نشین شده بودند به حالت مورب درآورده است. این بریدگی بزرگ کنار جاده در ویرجینیا تغییرات ناگهانی در مواد مادری خاک (لیتوسکانس) را وفتی کسی در سطح زمین در بالای عکس راه می‌رود تشریح می‌کند.

^۱ -Crustal Warping

طبقه‌بندی مواد مادری

مواد مادری معدنی می‌توانند یا در محل اصلی تشکیل شوند (درجا)^۱ مانند مواد هوادیده باقی‌مانده، و یا می‌توانند به‌وسیله‌ی انتقال از یک محل و ته‌نشینی در محل دیگر ایجاد گردند (شکل ۱۰-۲). در محیط‌های مرطوب (مانند باتلاق‌ها و مرداب‌ها) تجزیه‌ی ناقص ممکن است سبب تجمع مواد مادری آلی حاصل از پس‌مانده‌های گیاهی نسل‌های بسیاری از پوشش گیاهی گردد. اگرچه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مواد مادری عمدتاً در تشکیل خاک مؤثر است اما اغلب در ارتباط با موقعیت آن‌ها در محل فعلی طبقه‌بندی می‌شوند.

۱- مواد مادری که در جا از سنگ تشکیل شده است	مواد باقی‌مانده ^۲ (Residual)
۲- مواد مادری انتقال‌یافته	
الف - به‌وسیله‌ی ثقل	کوه‌رفت ^۳ (Colluvial)
ب - به‌وسیله‌ی آب	
رودخانه	آبرفتی (Alluvial)
اقیانوس	دریایی (Marine)
دریاچه	دریاچه‌ای (Lacustrine)
ج - به‌وسیله‌ی یخ	یخرفتی (Glacial)
د- به‌وسیله‌ی باد	بادرفتی (Eolian)
۳ - تجمع پس‌مانده‌های گیاهی	آلی



شکل ۱۰-۲ چگونه انواع مختلف مواد مادری تشکیل، انتقال و ته‌نشست می‌شوند.

^۱ - Sedentary

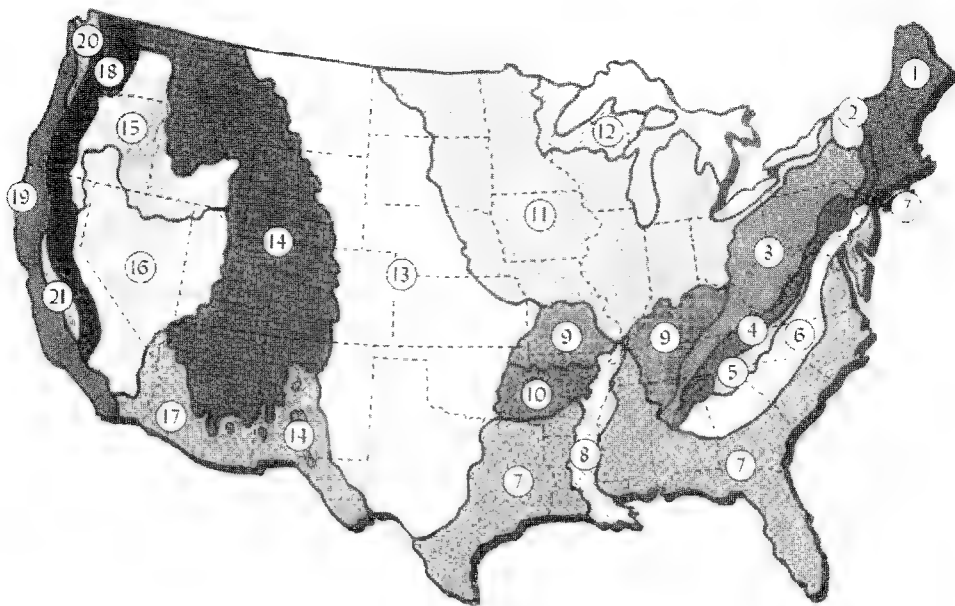
^۲ - Residual

^۳ - Colluvial

گرچه این واژه‌ها تنها به محل قرارگیری ماده‌ی مادری مربوط است، مردم گاهی این واژه‌ها را برای - های که از این ته‌نشست‌ها تشکیل شده‌اند به کار می‌برند. برای مثال خاک‌های آلی، خاک‌های یخچالی، خاک‌های آبرفتی و غیره. این واژه‌ها کاملاً غیر اختصاصی می‌باشند زیرا خصوصیات مواد مادری در داخل هر گروه بسیار متفاوت است، به علاوه اثر مواد مادری به وسیله اثرات اقلیم، موجودات زنده، پستی و بلندی و زمان قابل تغییر است.

۶-۲ مواد مادری در جا

این مواد مادری در محل اصلی از سنگ‌های زیرین تکامل می‌یابند. زمین‌نماهای پایدار ممکن است هوادیدگی طولانی و شدیدی را از سر گذرانده باشند. در مناطقی که اقلیم گرم و مرطوب است مواد مادری در جا به گونه‌ای شاخص به طور کلی شسته شده و اکسیده گردیده و رنگهای زرد و قرمز از ترکیبات مختلف آهن را به نمایش می‌گذارند (تابلو ۹، ۱۱ و ۱۵ را مشاهده کنید). در مناطق خنک تر و به خصوص خشک تر، رنگ و ترکیب شیمیایی مواد مادری در جا بیشتر شبیه به سنگی است که مواد مادری از آن تشکیل شده است. مواد مادری در تمام قاره‌ها به طور گسترده‌ای توزیع یافته‌اند. نقشه فیزیوگرافیک کشور آمریکا (شکل ۱۱-۲) ۹ استان بزرگ را نشان می‌دهد که در آن‌ها مواد مادری در جا غالب می‌باشند. (در راهنمای نقشه به صورت حروف کج آمده است). انواع مختلف خاک‌ها مناطقی را که به وسیله ماده مادری در جا پوشیده شده است تسخیر کرده‌اند، زیرا اختلاف قابل ملاحظه‌ای در سرشت سنگ‌هایی که این مواد مادری از آن‌ها تشکیل شده‌اند وجود دارد. خاک‌های متنوع همچنین منعکس کننده اختلافات زیاد در بین سایر عوامل مؤثر در تشکیل خاک مانند اقلیم و پوشش گیاهی می‌باشد (بخش ۱۳-۲ و ۱۴-۲).



شکل ۱۱-۲ نقشه‌ی عمومی فیزیوگرافی و نقشه رگولیت ایالات متحده مناطق بشرح زیر می‌باشند (اکثر مناطق با مواد مادری در جا با حروف درشت نشان داده شده‌اند)

- ۱- نیوانگلند^۱: عمدتاً شامل سنگ‌های دگرگونی یخچالی
- ۲- ادیرونداکس^۲: شامل سنگ‌های رسوبی و دگرگونی یخچالی
- ۳- کوه‌های اپالچی و فلاتها: شامل پلمه‌سنگ‌ها و ماسه سنگ‌ها
- ۴- دره‌ها و برجستگیهای سنگ آهک: عمدتاً سنگ آهک
- ۵- رشته کوه‌های آبی^۳: شامل ماسه سنگ و پلمه‌سنگ
- ۶- دشت دامنه‌ای فلات^۴: شامل سنگ‌های دگرگونی
- ۷- دشتیهای ساحلی اتلانتیک و خلیج: شامل سنگ‌های رسوبی با شن
- ۸- دشت طغیانی می‌سی‌سی‌پی و مصب‌های مربوطه: شامل آبرفت

¹ - New England

² - Adirondacks

³ - Blue Ridge Mountain

⁴ - Piedmont Plateau

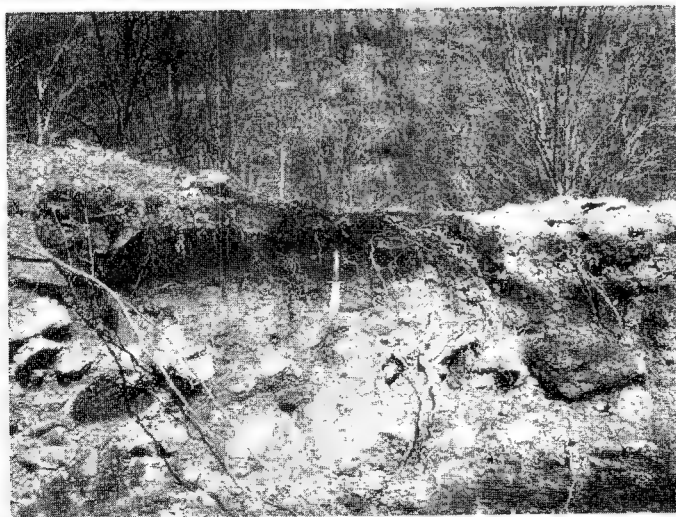
رس و آهک

- ۹- مناطق مرتفع سنگ آهک: عمدتاً شامل سنگ آهک و پلمه‌سنگ
- ۱۱- اراضی پست مرکزی: عمدتاً شامل سنگ‌های رسوبی با یخچالی و لس دارای اهمیت زیاد در کشاورزی (شکل ۱۷-۲).
- ۱۳- مناطق دشت‌های بزرگ^۱: شامل سنگ‌های رسوبی
- ۱۵- مناطق بین کوهستانها در شمال غرب: عمدتاً شامل سنگ‌های آذرین، لس در حوزه رودخانه‌های کلمبیا و مار^۲ (شکل ۲۱-۲).
- ۱۷- منطقه خشک جنوب غربی: شامل سنگریزه، شن و دیگر ته‌نشست‌های دشتی و کوهستانی
- ۱۹- استانهای ساحل اقیانوس کبیر: عمدتاً شامل سنگ‌های رسوبی
- ۲۱- دره‌ی مرکزی کالیفرنیا: عمدتاً شامل آبرفت و مواد فرسایش‌یافته
- ۱۰- مناطق مرتفع ماسه سنگ: عمدتاً شامل ماسه سنگ و پلمه‌سنگ
- ۱۲- مناطق مرتفع بالایی: شامل سنگ‌های رسوبی و دگرگونی یخچالی
- ۱۴- منطقه کوه‌های راکی: شامل سنگ‌های رسوبی، دگرگونی و آذرین
- ۱۶- حوزه‌های بزرگ: شامل سنگریزه، شن، با زیربناهای آبرفتی حاصل از سنگ‌های مختلف رسوبی و آذرین
- ۱۸- کوه‌های کاسکاد^۳ و سیرانواد: شامل سنگ‌های آذرین بیرونی
- ۲۰- اراضی پست جت ساند^۴: عمدتاً شامل سنگ‌های رسوبی و یخچالی

۷-۲ مواد کوهرفت

موارد کوهرفت یا کلومیم عبارتند از قطعات نامتجانس سنگ که از ارتفاعات بالا جدا شده و عمدتاً به وسیله‌ی ثقل و در بعضی موارد با یاری یخبندان به شیب پایین انتقال یافته است. شیب‌های دارای قطعات سنگی (تالوس) و تخته‌سنگ‌های پرتگاه‌ها و موارد نامتجانس مشابه نمونه‌های خوبی از موارد کوهرفت هستند. بهمن‌ها عمدتاً از تراکم این مواد ایجاد می‌شوند.

مواد مادری کوهرفت معمولاً دانه درشت و سنگدار می‌باشند زیرا هوادیدگی فیزیکی به‌جای شیمیایی غالب بوده است می‌باشد. سنگ‌ها، سنگریزه‌ها و موارد زیر در داخل هم ادغام شده‌اند (لایه‌بندی نشده‌اند) و ذرات دانه درشت زاویه‌دار هستند (شکل ۱۲-۲). منافذ حاصل از چیده شدن سنگ، فضاهای ایجاد شده وقتی سنگ‌های غلطان بر روی هم قرار می‌گیرند (در برخی مواقع با زوایای مخاطره آمیز) علت اصلی زهکشی آسان بسیاری از ته‌نشست‌های کوهرفت و همچنین تمایل آن‌ها به بی‌ثباتی و حساسیت و فروریزی و حرکت لغزشی به‌خصوص در هنگام حفاری آن‌ها می‌باشد.



شکل ۱۲-۲ یک خاک بارور که از مواد مادری کوهرفت در کوه‌های آپالچی در شرق ایالات متحده تشکیل شده است بر جستگی‌ها در عقب عکس زمانی بسیار بلندتر بوده‌اند. اما مواد از گرده‌ی شیب به پایین غلطیده و به شکلی که در خاک‌رخ مشاهده می‌شود قرار گرفته‌اند به مخلوط فاقد لایه در اندازه‌های مختلف و شکل نسبتاً زاویه‌دار قطعات درشت‌تر توجه کنید.

۸-۲ ته‌نشست‌های آبرفتی و رودخانه‌ای

به‌طور کلی ته‌نشست‌های آبرفتی به سه گروه تقسیم می‌شوند که عبارتند از سیل‌دشت، بادبزنی‌های آبرفتی و مصب‌ها که به‌ترتیب مورد بحث قرار خواهند گرفت.

¹ - Great Plain

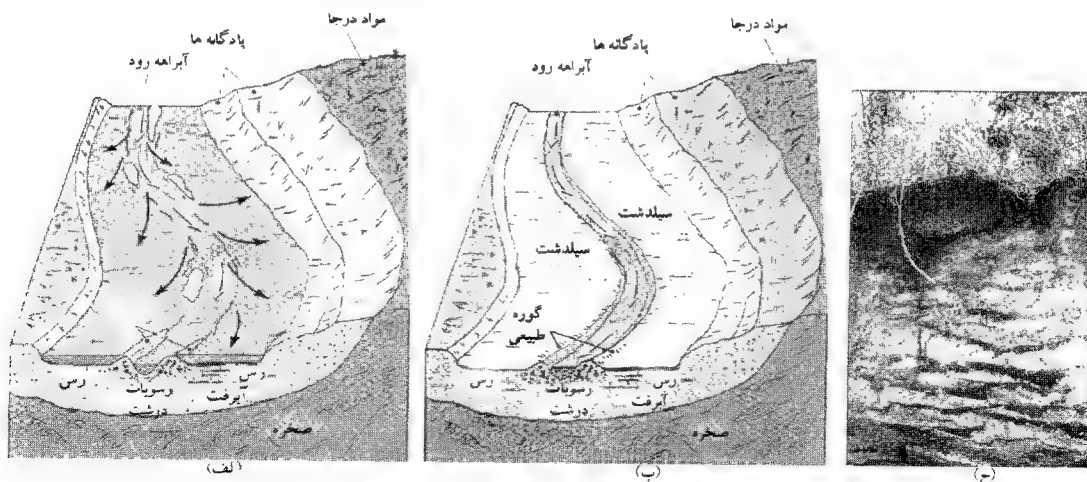
² - Snake River

³ - Cascade & Sierra Nevada

⁴ - Puget Sound

سلسله‌ها

رودخانه‌ها اغلب در بستر خود طغیان کرده و اراضی اطراف را سیل فرا می‌گیرد. سیلدشت آن بخش از دره است که در طول طغیان‌ها زیر سیل باقی می‌ماند. رسوب حمل‌شده به‌وسیله‌ی رودخانه‌های طغیانی ته‌نشست می‌کنند. مواد دانه درشت در نزدیکی بستر رودخانه که آب عمیق‌تر و جریان متلاطم است رسوب‌یافته و مواد دانه‌ریز بسیار دورتر از بستر در جایی که آب سیل آرام‌تر است ته‌نشست می‌شود. هر رویداد مهم سیل لایه‌های جداگانه‌ای از ته‌نشست را به‌جای می‌گذارد که سبب لایه‌بندی خاص در خاک‌های آبرفتی می‌شود (شکل ۱۳-۲).



شکل ۱۳-۲ تشریح تشکیل یک سیلندشت: الف - رودخانه‌ای در مرحله طغیانی از بستر خود خارج شده است و تنشت‌های را در سیلندشت به جای گذاشته است. مواد دانه درشت در نزدیکی بستر رودخانه، که آب با بیشترین سرعت جاری است تنشین شده‌اند درحالی‌که ذرات ریزتر رس وقتی حرکت آب کند است تنشین می‌شوند. ب - بعد از طغیان در تنشت‌های برجای گذاشته گیاهان رشد می‌کنند. ج - لایه‌های متفاوت شن، لای و رس مشخصه سیلندشت آفرین است و هر لایه حاصل رویداد جداگانه‌ای از طغیان رود می‌باشد.

در طی زمان، اگر در شب تغییری ایجاد شود رودخانه ممکن است در داخل مواد آبرفتی تشکیل یافته قبلی خود کندوکاو کرده و پادگانه‌های در بالای سیلندشت در یک طرف و یا دو طرف رودخانه ایجاد کند. بعضی از دره‌های رودخانه‌ای ۲ و یا ۳ نظام پادگانه را در ارتفاعات مختلف که هر کدام بیانگر ته‌نشست مواد آبرفتی و کنندن رودخانه‌ها در داخل آن‌هاست به نمایش می‌گذارد.

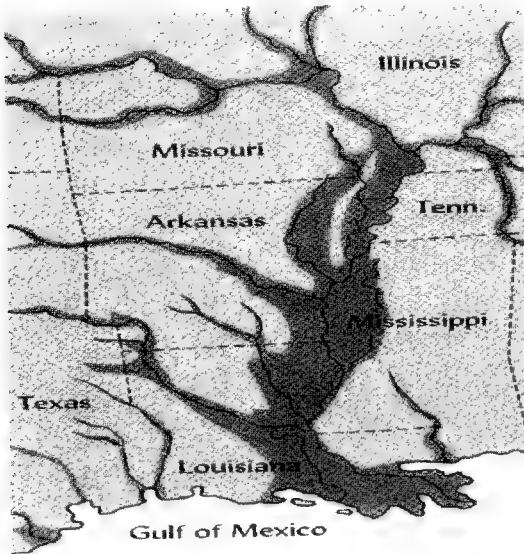
مناطق عمده‌ای از مواد مادری آبرفتی در طول دره‌های رود نیل در مصر و سودان، فرات، گنگا، ایندوس، براهماپوترا و هوانگ‌هو در آسیا و رود آمازون در برزیل و سیلندشت آبرفتی در طول رودخانه می‌سی‌سی‌پی که گسترده‌ترین رودخانه در آمریکا بوده (شکل ۱۴-۲) و دارای عرض، از ۳ تا ۱۲۵ کیلومتر می‌باشد یافت می‌شوند. سیلندشت‌های رودخانه‌ای کوچک مواد مادری محلی برای خاک‌ها فراهم می‌کند.

مواد غنی فرسایش یافته از خاک‌های مناطق بالادست در سیل‌دشت‌ها و مصب‌ها ته‌نشین می‌شوند. خاک‌های حاصل از ته‌نشست‌های آبرفتی معمولاً دارای خصوصیت‌هایی هستند که برای مناطق مسکونی و کشاورزی مناسب می‌باشند. این خصوصیات شامل پستی و بلندی آرام، مجاورت با آب، باروری و توان تولید بالا می‌باشد. اگرچه بسیاری از خاک‌های آبرفتی دارای زه‌کشی مناسب می‌باشند اما، در بعضی موارد زه‌کشی مصنوعی، برای محصولات کشاورزی و همچنین شالوده‌های پایدار ساختمانی لازم می‌باشد.

درحالی که خاک‌های آبرفتی اغلب در کاربری جنگل و تولید محصولات مناسب می‌باشند باید از کاربری آن‌ها در توسعه ساختمان‌سازی و مناطق شهری عمدتاً اجتناب کرد، متأسفانه، خصوصیات مناسب بسیاری از خاک‌های آبرفتی سبب گردیده که شهرها و شهرک‌هایی بر روی آن‌ها ایجاد گردند. همان‌طور که طغیان‌های بزرگ می‌سی‌سی‌پی در سال ۱۹۹۳ و رود اوهایو رود سرخ در سال ۱۹۹۷ نشان داده‌اند، در سیل‌دشت‌ها به‌رغم پرداخت هزینه‌های سنگین عملیات مهار سیل در آن‌ها، اغلب سبب هدررفت مصیبت‌بار زندگی انسان‌ها در طی طغیان‌های شدید می‌شود.

ثابت شده است که در بسیاری از مناطق نصب سامانه های زه کشی و مهار سیل پرهزینه و نامؤثر بوده است، زارعین و جامعه هزینه های سنگینی را برای نگهداری این اراضی در کاربریهای کشاورزی و استفاده شهری می پردازند. اقداماتی برای استقرار مجدد شرایط اراضی مرطوب در مناطق کشاورزی در معرض طغیان که زمانی اراضی مرطوب واقعی بوده اند به عمل آمده است. این خاک ها و دیگر خاک های

آبرفتی می‌توانند سکونت گاههای طبیعی مانند جنگلهای آبی ایجاد کنند که از نظر تولید السوار و حفظ تنوع زیستی پرندگان و دیگر حیات وحش دارای توان تولید بالایی می‌باشند.



شکل ۱۴-۲ سیلدشت و مصب رودخانه می‌سی‌سی‌پی که بزرگ‌ترین اراضی پیکارچه با خاک آبرفتی در کشور آمریکا می‌باشد.

آبرفت‌های بادبزنی شکل

رودهایی که دره‌های باریکی در اراضی مرتفع را به‌جای گذاشته و ناگهان وارد یک دره وسیع‌تر در پایین می‌گردند در اثر پخش آب و کاهش سرعت آن ته‌نشست‌های خود را به‌شکل یک بادبزنی (آبرفت بادبزنی) به‌جای می‌گذارند (شکل‌های ۱۵-۲ و ۱۳-۱۹ را مشاهده کنید). جریان سریع آب سبب جداشدن ذرات رسوبی از نظر اندازه می‌شود. اول سنگریزه و ذرات شن را به‌جای گذاشته و سپس مواد دانه ریز در انتهای بادبزنی ته‌نشین می‌شوند.

مواد آبرفتی بادبزنی در مناطق وسیعی در قلمروهای کوهستانی و تپه ماهور وجود دارند. خاک‌های ایجادشده از این ته‌نشست‌ها اغلب دارای توان تولید بسیار بالایی می‌باشند، گرچه ممکن است دارای بافت درشت باشند. دره‌ی ساکرامنتو^۱ در کالیفرنیا و دره‌ی ول‌مت^۲ در اروگون نمونه‌هایی از اراضی وسیع و مهم کشاورزی با مواد آبرفتی در آمریکا می‌باشند.



شکل ۱۵-۲ اراضی آبرفتی بادبزنی شکل در امتداد دره‌ی یک رودخانه در آلاسکا. گرچه اراضی شیب‌دار و کوچک می‌باشند می‌توانند سبب ایجاد خاک‌های دارای زه‌کشی خوب گردند

ته‌نشست‌های مصبی

بیشتر ته‌نشست‌های ریزی که به‌وسیله‌ی رودخانه‌ها حمل می‌شوند در سیلدشت‌ها ته‌نشین نشده، بلکه در داخل دریاچه‌ها و یا اقیانوس‌ها تخلیه می‌شوند. بعضی از مواد تعلیقی در نزدیک دهانه‌ی رود ته‌نشین شده و یک مصب ایجاد می‌کنند. این ته‌نشست‌های مصبی به هیچ وجه در سراسر جهان یکسان نبوده و در دهانه‌ی بعضی از رودها یافت می‌شوند. یک مصب معمولاً تداوم یک سیلدشت است (پیشانی سیلدشت). این مصب‌ها معمولاً دارای بافت رسی بوده و احتمالاً به حالت مردابی می‌باشند.

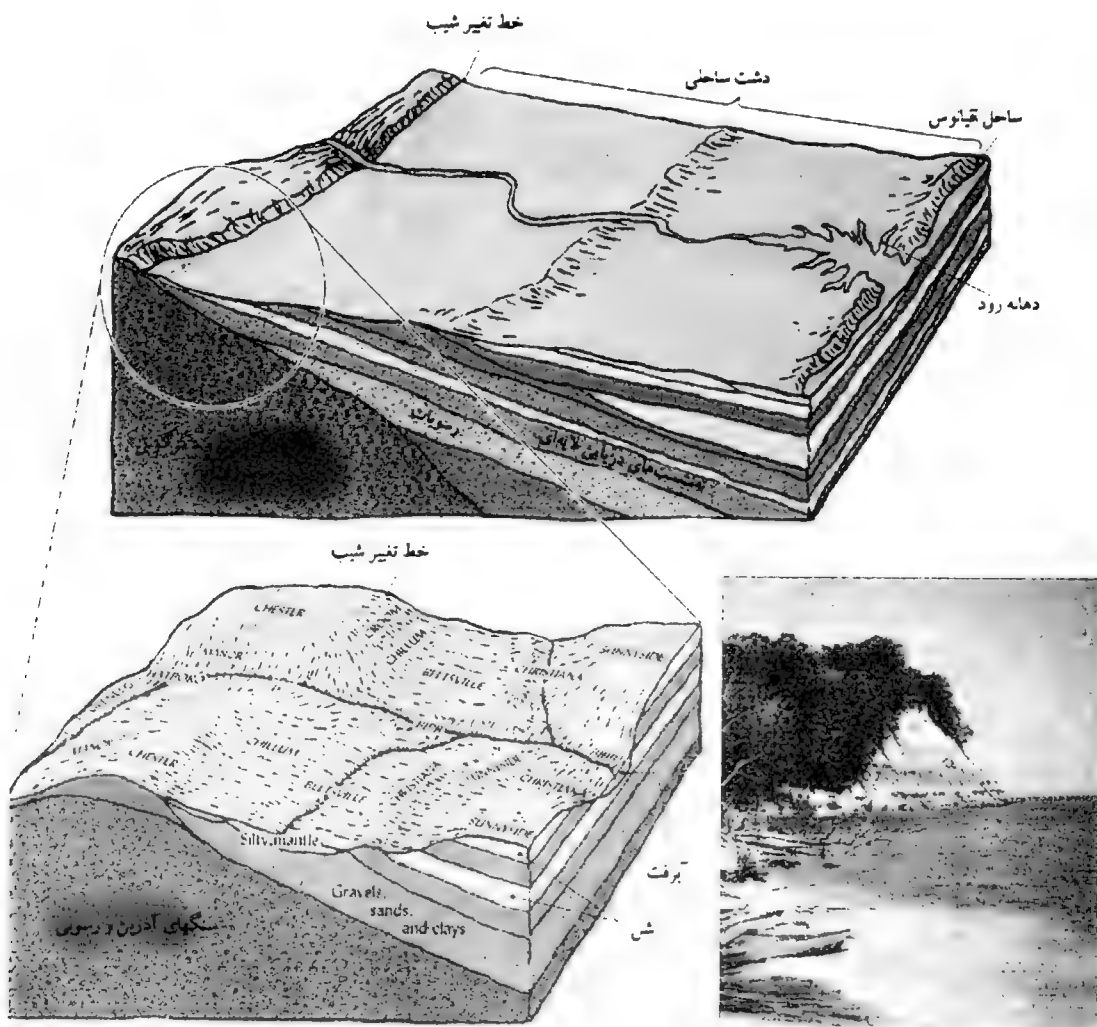
^۱ - Sacramento

^۲ - Willa Mette

نظامهای زه‌کشی و مهار سیل در مصب رودهایی مانند آمازون، فرات، گنگ، هوانگ‌هو، می‌سی‌سی‌پی، نیل، یو و فرات شده است.

۹-۲ ته‌نشست‌های دریایی

ته نشست‌ها بعداً در معرض چرخه‌ی جدید هوازدگی و تشکیل خاک قرار می‌گیرند.



شکل ۱۶-۲ نمودارهایی که نشان می‌دهد تنش‌ها به وسیله آب‌های دریا در مجاورت سنگ‌های آذرین و دگرگونی ساحل‌تشنین می‌شوند. توجه کنید که تنش‌های دریایی لایه‌های متناوب رس ریز و شن و سنگریزه بافت درشت می‌باشند. در بخش پایین عکس سمت راست چنین لایه‌بندی را در تنش‌های دریایی نشان می‌دهد. خاک‌های ایجادشده از مواد مادری دریایی نیز در نمودار نشان داده شده‌اند (نام‌های خاک‌ها با حروف بزرگ). رود در داخل تنش‌های دریایی کندوکاو کرده و بعضی از مواد آبرفتی خود را تهنین کرده است. این دیاگرام و عکس رابطه بین تنش‌های دریایی و سواد در جا در دشت‌های ساحلی جنوب شرقی ایالات متحده را نشان می‌دهد.

یک دشت ساحلی معمولاً دارای شیب متوسط می‌باشد. در بخش‌های پست نزدیکتر به خط ساحل، بسیار مسطح و در اراضی دورتر در خشکی تپه‌ماهوری می‌باشند. جایی که رودها و نهرها از شیب‌های تند به پایین روان هستند، دارای زمین‌نمای بریده‌شده ژرف می‌باشند. سطح اراضی در بخش‌های پایین ساحلی ممکن است حداقل در بعضی از مواقع سال اندکی از سطح آب بالاتر باشد، بنابراین جنگل‌های ماندابی و باتلاق‌ها از ویژگی‌های این مواد مادری می‌باشند.

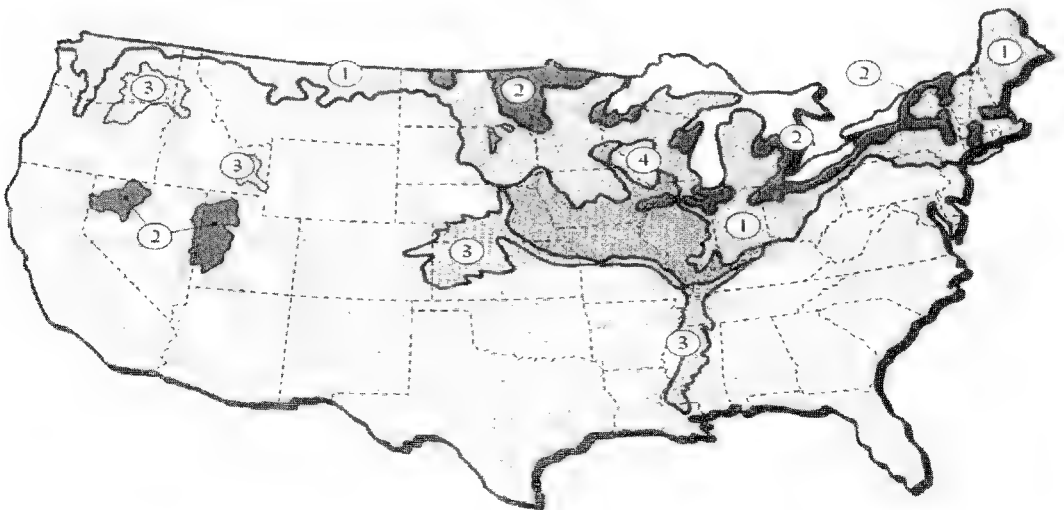
تنه‌ست‌های دریایی از نظر بافت بسیار متغیر می‌باشند، بعضی شنی بوده که در بسیاری از دشت‌های ساحلی اقیانوس اطلس چنین است بعضی دیگر دارای رس زیاد می‌باشند مانند تنه‌ست‌های دشت‌های مسطح درخت زار اقیانوس اطلس و خلیج‌ها و اراضی کاج زار داخلی در آلاباما و می‌سی‌سی‌پی. وقتی رودخانه‌ها در داخل تنه‌ست‌های دریایی کندوکاو می‌کنند (شکل ۱۶-۲) با رس‌ها، لای و شن‌ها در کنار هم مواجه می‌شویم. تمام این تنه‌ست‌ها از فرسایش اراضی مرتفع حاصل‌شده‌اند که در بعضی از آن‌ها قبل از حمل و انتقال هوادیدگی به‌شدت انجام گرفته است. در نتیجه خصوصیت خاک‌های حاصل به‌شدت تحت تأثیر مواد مادری دریایی می‌باشند. بسیاری از تنه‌ست‌های دریایی دارای گوگرد بوده و در بعضی از مراحل خاک‌سازی برای مدتی در اثر اکسایش گوگرد اسید تولید می‌کنند (بخش ۲۱-۱۳ و تابلو ۲۴ را مشاهده کنید).

۱۰-۲ مواد مادری انتقال‌یافته به‌وسیله یخ و آب ذوب‌شده

در دوره پلیستوسن حدود ۱۰ هزار تا ۱۰ میلیون سال قبل حدود ۲۰ درصد سطح پیشین شامل آمریکای شمالی، اروپای شمالی و مرکزی و بخش‌هایی از شمال آسیا در تسخیر لایه‌های بزرگ یخ بود و بعضی بیش از ۱ کیلومتر ضخامت داشتند.

یخچال‌های امروزی در مناطق قطبی و کوهستانهای مرتفع حدود ۱/۲ مساحت جهان را پوشانده اما به اندازه یخچال‌های دوره عصر یخبندان پلیستوسن ضخامت ندارند. با این اوصاف، اگر تمام یخچال‌های موجود ذوب بشوند سطح آب دریا حدود ۶۵ متر بالا خواهد آمد. بعضی از دانشمندان برآورد می‌کنند که اگر این شیوه گرم‌شدن کره زمین تداوم یابد احتمال ذوب یخچال‌های موجود و همراه با آن به‌الا آمدن سطح آب دریا سبب به‌زیر آب رفتن بسیاری از مناطق ساحلی در سرتاسر جهان خواهد شد.

در آمریکای شمالی یخچال‌های دوران پلیستوسن قسمت بیشتر سطح کانادای امروزی، آلاسکای جنوبی و بخش شمالی کشور آمریکا را پوشانده بود. بیشترین توسعه در جنوب به‌طرف پایین در دره می‌سی‌سی‌پی بود که با کمترین مقاومت به‌دلیل پستی‌وبلندی ملایم‌تر و پایین‌تر مواجه بود (شکل ۱۷-۲).



شکل ۱۷-۲ مناطق در ایالات متحده آمریکا که به‌وسیله صفحات یخ قاره‌ای و تنه‌ست‌ها چه به‌طور مستقیم و چه همراه با یخ یخچالی پوشیده شده بود. ۱- تنه‌ست‌های یخچالی در انواع مختلف ۲- تنه‌ست‌های یخچالی دریاچه‌ای ۳- پوشش باده‌شته^۱ (توجه کنید لس بخش عظیمی از تنه‌ست‌های یخچالی در غرب میامی را پوشانده بود) ۴- منطقه‌ای عمدتاً در ایالت ویسکانسین که از یخبندان فرار کرده است و بخشی از آن به‌وسیله باده‌شته پوشیده شده است.

^۱ - Loess

اروپا و مرکز آمریکای شمالی ظاهراً چندین دوره‌ی مشخص غلبه یخبندان را در طول ۱ تا ۱/۵ میلیون سال تحمل کرده‌اند. این دوران تسخیر یخچالی با دوره‌های بین یخچالی طولانی عاری از یخبندان با آب و هوای گرم، حتی شبه‌حاره‌ای از همدیگر جدا می‌شوند. ما هم اکنون شاید از اعتدال هوا در دوره بین یخچالی دیگری لذت می‌بریم.

با جلو راندن یخ در یخچال، رگولیت موجود با پوشش خاکی آن جاروب گردید. تپه‌ها گرد شده و دریاها پر شدند. و در بعضی موارد سنگ‌های زیرین به شدت آسیاب گردیده و کنده شدند و بنابراین یخچال، به وسیله سنگ‌ها و تمام مواد نامتراکم پر شده و حجم زیادی از این مواد با جلو راندن یخچال حمل گردیدند (شکل ۱۸-۲). با ذوب شدن یخ و عقب‌نشینی یخچال یک لایه از ته‌نشست‌های یخچالی و یا دریفت به جای گذاشته شدند. این فرایند سبب ایجاد رگولیت جدید و مواد مادری تازه برای تشکیل خاک گردید.

نهشته‌های یخچالی و دیگر ته‌نشست‌های همراه

واژه‌ی نهشته یخچالی (دریفت)^۱ به تمام مواد با منشأ یخچالی اطلاق می‌شود که یا با یخ و یا آب همراه آن ته‌نشین شده باشند. موادی که مستقیماً به وسیله یخ ته‌نشین شده باشند یخرفت (تیل)^۲ گفته می‌شود که مخلوط ناهمگن از مواد رسوبی در اندازه‌های متفاوت از رس تا خرسنگ می‌باشد. یخرفت ممکن است از نظر ظاهری چیزی شبیه مواد کوه‌رفت باشد. با این استثناء که مواد دانه درشت به‌خاطر آسیاب شدن در طول مسافت خود در یخ بیشتر گرد بوده و ته‌نشست‌ها به‌خاطر وزن بسیار زیاد طبقات بالایی یخ بیشتر متراکم شده‌اند. تیل‌ها در برجستگی‌های نامنظم بنام یخرفت سطحی (مورین)^۳ یافت می‌شوند. شکل ۱۹-۲ نشان می‌دهد که چگونه لایه‌های یخچالی انواع مختلفی از مواد مادری را به جای گذاشته‌اند.

یخ‌آبرفت^۴ و ته‌نشست‌های دریاچه‌ای

طغیان‌های آب به‌راه افتاده از ذوب یخچال‌ها بار بزرگی از ته‌نشست‌ها را حمل کردند. در دره‌ها و دشت‌ها که آب‌های یخچالی قادر بودند به آسانی جریان یابند ته‌نشست‌ها یک دشت یخ‌آبرفت را تشکیل دادند (شکل ۱۹-۲). این ته‌نشست‌ها همراه با شن و سنگ‌ریزه، که به وسیله آب جاری جداگانه تفکیک شده بودند مواد پرکننده دره‌ها^۵ می‌باشند که در بخشهایی از امریکا وجود دارند. شکل ۲۰-۲ نشان می‌دهد که لایه‌های تفکیک شده از مواد ریز و درشت ته‌نشست‌های یخچالی به وسیله مخلوطی از یخرفت پوشش یافته‌اند.

وقتی پیشانی یخ به توقف‌گاهی رسید که در آنجا فرار آسان آب ممکن نبود. ماندابی شدن آغاز گردیده و نهایتاً دریاچه بزرگی تشکیل گردید (شکل ۱۹-۲). به‌خصوص در امریکا این دریاچه‌ها در جنوب منطقه‌ی دریاچه‌های بزرگ و دره رودخانه‌ی سرخ در ایالت مینه‌سوتا و مانی‌توبا^۶ (کانادا) فراوان می‌باشند (شکل ۱۷-۲ را مشاهده کنید) دریاچه‌ی آخری، که دریاچه‌ی یخچالی (آگاسیز)^۷ نام دارد با حدود ۱۲۰۰ کیلومتر طول و ۴۰۰ کیلومتر عرض حداکثر گسترش خود را داشته است.

نهشته‌های دریاچه‌ای^۸ که در این دریاچه‌های یخچالی تشکیل شده‌اند شامل مواد درشت مصبی و ته‌نشست‌های شنی در نزدیکی ساحل تا اراضی وسیع با ته‌نشست‌های لای ریز و رس در آبهای عمیق‌تر آرام در مرکز دریاچه می‌باشد. پس از خشک شدن دریاچه، اراضی با خاک‌های بارور (گرچه همیشه دارای زه‌کشی خوب نمی‌باشند) به جای آن ظاهر می‌گردد.

۱۱-۲ مواد مادری انتقال یافته به وسیله باد

باد قادر است مقدار عظیمی از مواد را یکجا حمل کرده و در محل دیگر به جای بگذارد. باد می‌تواند به‌طور بسیار مؤثر مواد را از خاک و یا رگولیت که سست و خشک باشد و به وسیله پوشش گیاهی حفاظت نشده باشد بر دارد. اراضی بایر خشک به‌عنوان مواد مادری برای تشکیل خاک در فاصله‌ای به دوری دو طرف مقابل کره زمین عمل کرده و کماکان عمل کند. هرچه ذرات ریزتر باشند، باد آن‌ها را بلندتر کرده و به فاصله‌ای طولانی‌تر انتقال می‌دهد. مواد حمل شده به وسیله باد (اتولین)^۹ که به‌عنوان ماده‌ی مادری برای تشکیل خاک اهمیت

^۱ - Drift

^۲ - Till

^۳ - Moraine

^۴ - Outwashplain

^۵ - Valley Fill

^۶ - Manitoba

^۷ - Agassiz

^۸ - Lacustrine Deposit

^۹ - Eolian

دارند به ترتیب از مواد درشت تا ریز عبارتند از شن‌تپه‌ها^۱، بادنهشته (لس)^۲، و گرد و خاک معلق در هوا^۳. خاکسترهای آتشفشانی^۴ حاصل از آتشفشان‌های انفجاری مورد خاص می‌باشند که شایان اشاره می‌باشند.



شکل ۱۸-۲ (عکس بالا) زبانه‌هایی از یک یخچال امروزی در کانادا. به نشانه‌ها و شواهد انتقال مواد به‌وسیله‌ی برف و ظاهر گرد و لبه‌ی عمده‌ی برف توجه کنید (عکس پایین) این دره U شکل در کوه‌های راکی بیانگر عمل یخچال‌ها در حفر اراضی می‌باشد. یخچال باعث شد کف دره با ته‌نشت‌های یخچالی پوشانده شود. بعضی از مواد کنده‌شده به‌وسیله‌ی یخچال‌ها کیلومترها پایین‌تر در دره به‌جای گذاشته‌شده است.

شن‌تپه‌ها

درطول ساحل دریاها و دریاچه‌های بزرگ و در بیابان‌های بایر وسیع، بادهای شدید ذرات متوسط و ریز شن را برداشت کرده و آن‌ها را در تپه‌هایی به اسم شن‌تپه‌ها انبار می‌کند. شن‌تپه‌ها که ارتفاعی تا ۱۰۰ متر دارند ممکن است در عکس‌العمل به باد غالب به جابه‌جایی آرام محل خود ادامه دهند. از آن‌جاکه اکثر کانی‌های دیگر خردشده و به‌وسیله‌ی امواج حمل شده‌اند شن‌های سواحل معمولاً از کانی کوارتز که عاری از عناصر غذایی بوده و در مقابل هوازدگی بسیار مقاوم می‌باشد تشکیل شده است. گرچه در طول زمان گیاهان چمنی خاص شن‌تپه‌ها و دیگر گیاهان پیش‌آهنگ ریشه دوانیده و فرایند تشکیل خاک شروع می‌شود. خاک‌های شنی که کیلومترها در شرق دریاچه‌ی

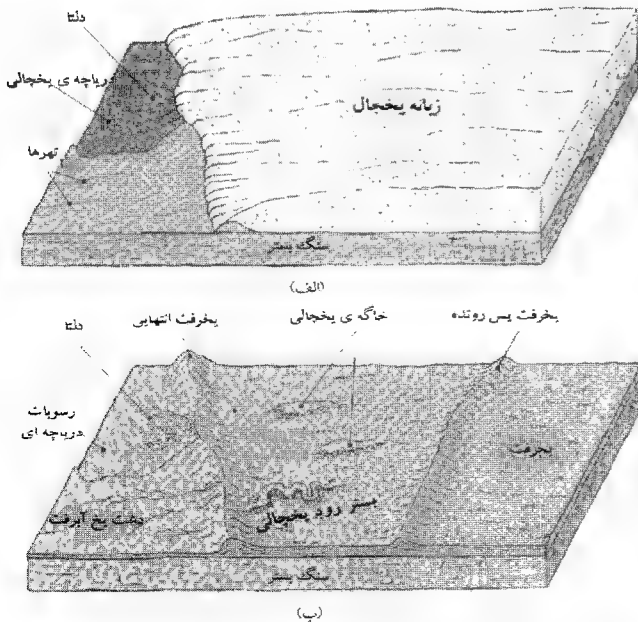
^۱ - Sand dune

^۲ - Loess

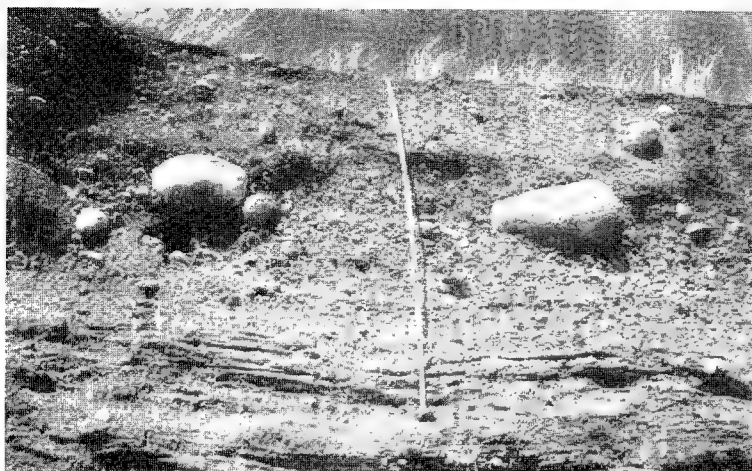
^۳ - Aerosolic dust

^۴ - Volcanic ash

میشگان گسترش یافته‌اند نمونه‌ای از این فرایند می‌باشند. بنظر می‌رسد بعضی از خاک‌های خیلی عمیق در دشت ساحلی آتلانتیک که بر روی شن‌تپه‌ها مشخص‌کننده‌ی محل یک ساحل قدیمی تشکیل شده باشند. شن‌های بیابان اغلب تحت غلبه کوارتز می‌باشند اما ممکن است شامل مقدار قابل توجهی از دیگر کانی‌ها بوده که در استقرار بیشتر پوشش گیاهی و تشکیل خاک‌ها در صورت وقوع بارندگی کافی مؤثر باشند. تپه‌های کاملاً سفید خالص تشکیل شده از ذرات گچ در اندازه‌ی شن در منطقه‌ی شن سفید^۱ ایالت نیومکزیکو نمونه جالب توجهی از کانی‌های قابل هوادیدگی در شن‌های بیابان می‌باشد.



شکل ۱۹-۲ تشریح چگونگی ته‌نشینی مواد یخچالی مختلف الف- زبان‌های یخچالی در حرکت به سمت چپ آب و ته‌نشست‌ها را به داخل یک دریاچه‌ی یخچالی و رودخانه‌ها تخلیه کرده و یخرفت (تیل) را در پیشانی خود جمع‌آوری می‌کند. ب- پس از عقب‌نشینی یخ، یخرفت سطحی نهایی، زمینی و برگشتی همراه با تپه‌های سیگاری شکل (خاگه‌های یخچالی)^۲، بستر رودخانه‌های جاری در زیر یخچال‌ها (اسکرز)^۳، ته‌نشست‌های دریاچه‌ای، مصبی و فرسایشی آشکار می‌شوند.



شکل ۲۰-۲ لایه‌بندی ذرات با اندازه‌های مختلف را می‌توان در یک ته‌نشست‌های فرسایشی یخچالی در بخش پایین این خاکرخ در داکوتای شمالی مشاهده کرد. مواد فرسایشی به وسیله‌ی یک لایه یخرفت (تیل) با توزیع تصادفی ته‌نشست‌ها در اندازه‌های تخته سنگ تارس پوشیده شده است. به لایه‌ی گرد شده سنگ‌ها که دلیل صیقل یافتن در داخل یخچال است توجه کنند.

بادنهشته (گس)

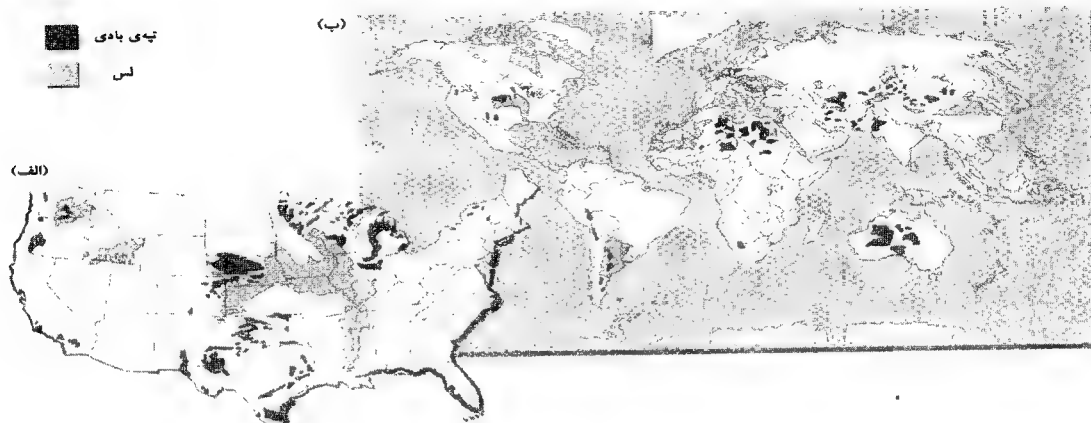
مواد بادرفت بنام گس عمدتاً از لای با مقداری شنی ریز و رس تشکیل شده است. این مواد مادری منطقه‌ی گسترده‌ای را در آمریکای مرکزی، اروپای شرقی، آرژانتین و آسیای مرکزی (شکل ۲۱-۲) پوشش داده‌اند. گس ممکن است صدها کیلومتر به وسیله‌ی باد جابه‌جا شده باشد. ته‌نشست‌هایی که از منبع اصلی در فاصله‌ی دورتر باشند از ریزترین ذرات تشکیل شده‌اند.

^۱ - Whitesand

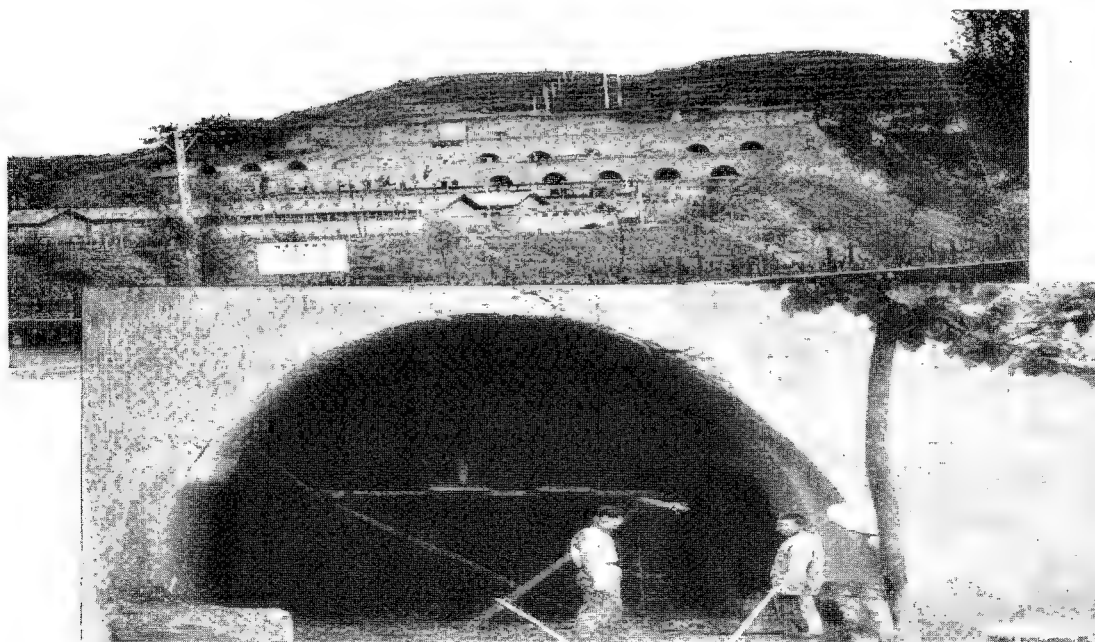
^۲ - Drumline

^۳ - Eskers

در آمریکا (شکل ۲۱-۲) منبع اصلی لس، گستره‌های عظیم بایر یخرفت و دشت‌های یخ‌آبرفت است که در دره‌های رودخانه‌های میسوری و می‌سی‌سی‌پی با توقف پس‌روی در آخرین دوره یخبندان باقی مانده‌اند. در طول ماههای زمستان بادهای مواد دانه‌ریز را جدا کرده و با خود به طرف جنوب حمل کرده و خاک‌های موجود و مواد مادری را پوششی از لس به عمق ۸ متر فرا گرفته است. در چین مرکزی و غربی ته‌نشست‌های لسی با عمق ۳۰ تا ۱۰۰ متر سطحی حدود ۸۰۰/۰۰۰ کیلومتر مربع را پوشانده است (شکل ۲۲-۲). این مواد از بیابان‌های آسیای مرکزی به وسیله باد حمل شده و معمولاً ارتباط مستقیمی با یخچال‌ها ندارند. این ته‌نشست‌ها و سایر ته‌نشست‌های لسی تمایل دارند که خاک‌های لای‌دار با باروری و توان تولید بالا ایجاد کنند.



شکل ۲۱-۲ الف- توزیع تقریبی بادهشته (لس) و شن‌تپه‌ها در ایالات متحده آمریکا. خاک‌های تکامل یافته از بادهشته معمولاً دارای بافت لوم لای‌دار و اغلب غنی از شن ریز می‌باشند. مخصوصاً به گسترش آن به طرف پایین در ساحل شرقی رودخانه می‌سی‌سی‌پی و مناطق کوچک‌تر بادهشته در واشنگتن، اورگون و ایداهو توجه کنید. مهمترین اراضی دارای شن‌تپه‌ها عبارتند از شن‌تپه‌های نبراسکا و شن‌تپه‌ها در ساحل شرقی دریاچه می‌شگان ب- سایر ته‌نشست‌های بادی جهان شامل بادهشته آرژانتین، اروپای شرقی و شمال چین و شن‌تپه‌ها آفریقا و استرالیا می‌باشد.



شکل ۲۲-۲ روستایان خانه‌هایی از بادهشته‌های لسی در شهرستان زیان کشور چین حفر می‌کنند. بادهشته‌های لسی عمدتاً از لای تشکیل شده که به وسیله مقادیر اندک رس به هم چسبیده‌اند و پیوند رس سبب می‌شود که در هنگام حفاری، لس پایدار باشد اما باید مواد لسی از بارندگی همانند این دیواره قائم محافظت شوند. حفاری‌های شیب‌دار از این مواد به سرعت فرو ریخته و در صورت اشباع با آب باران شسته می‌شوند. بریدگیهای قائم چهره‌ی معمول اراضی لسی در سرتاسر جهان می‌باشد.

گرد و غبار هوا

ذرات خیلی ریز (حدود ۱ تا ۱۰ میکرون) که در ارتفاعات بالای جو حمل می‌شوند ممکن است قبل از ته‌نشینی، معمولاً با باران هزاران کیلومتر را طی کنند. این ذرات ریز گرد و غبار ابروسل نام دارند، زیرا آن‌ها به‌خاطر اندازه‌ی بسیار ریز خود می‌توانند به حالت تعلیق در هوا باقی بمانند.

درحالی‌که این ذرات اراضی را به ضخامت بادهشته‌های گسی نمی‌پوشانند اما تأثیر آن‌ها در تشکیل خاک در بعضی موارد قابل توجه است. بسیاری از کربنات کلسیم خاک‌های غرب آمریکا احتمالاً از گردوغبار بادرقت تشکیل شده‌اند. مطالعات جدید نشان داده‌اند که گردوغبار ناشی از بیابان صحرا در شمال آفریقا، که بر فراز اقیانوس اطلس در نیوار فوقانی حمل شده‌اند منبع اکثر کربنات کلسیم و سایر عناصر غذایی است که در خاک‌های شدیداً آبشویی شده حوزه‌ی آمازون در آمریکای جنوبی یافت می‌شود.

خاکسترهای آتشفشانی

در طول انفجارات آتشفشانی قطعات گدازه^۱ در پیرامون نزدیک دهانه‌ی آتشفشان سقوط کرده درحالی‌که ذرات ریز شیشه‌ای خاکستر ممکن است اراضی وسیعی را در سمت باد پوشش دهد. خاک‌های تکامل‌یافته از خاکسترهای آتشفشان در فاصله چند صد کیلومتری دهانه‌ی آتشفشانهایی که اقیانوس کبیر را محاصره کرده‌اند یافت می‌شوند. مناطق مهمی با ماده مادری خاکستر آتشفشانی در ژاپن، اندونزی، نیوزلند، آمریکای غربی (هاوایی، موتانا، اروگون، واشنگتن و ایداهو) مکزیک و شیلی یافت می‌شوند. خاک‌های تشکیل شده به‌طور مشخص سبک و متخلخل می‌باشند و تمایل دارند ماده‌ی آلی را بسیار سریعتر از دیگر خاک‌های منطقه در خود جمع کنند.

۱۲-۲ ته‌نشست‌های آلی

مواد آلی در مناطق مرطوب هنگامیکه نرخ رشد گیاهی از نرخ تجزیه‌ی پس‌مانده‌های گیاهی فزونی گیرد تجمع می‌یابند. در طول قرن‌ها بقایای گیاهان آبدوست مانند علف استخرها، جگن، نی، خزه، بوته‌ها و درختان خاص تجمع یافته است. این بقایا در داخل آب غرق گردیده و اکسایش آن‌ها به‌خاطر نبود اکسیژن متوقف می‌شود. در نتیجه، مواد آلی با چندین متر ضخامت به‌وجود می‌آید (شکل ۲۳-۲). به‌طور کلی این ته‌نشست‌های آلی پیت نامیده می‌شوند.

توزیع و تجمع پیت‌ها

نهشته‌های پیت در تمام جهان یافت می‌شوند اما بیشترین توسعه آن‌ها در اقلیم خنک و در مناطق تسخیر شده یخچالی می‌باشد. حدود ۷۵٪ از سطح ۳۴۰ میلیون هکتار اراضی پیت‌زار جهان در کانادا و روسیه شمالی یافت می‌شود. ایالات متحده با ۲۰ میلیون هکتار و با فاصله زیاد سوم می‌باشد. میزان تجمع نهشته‌های آلی منطقه به منطقه متفاوت می‌باشد. در اقلیم گرم فلوریدا، نهشته‌های پیت در مناطق باتلاقی به مدت ۳ تا ۴ هزار سال با نرخ ۰/۸ میلیمتر در سال تجمع یافته است. در ایالت ویسکانزین برآورد نرخ تجمع ۰/۲ تا ۰/۴ میلیمتر در سال بوده است.

انواع پیت‌ها

بر اساس سرشت مواد مادری ۴ نوع پیت مشخص شده است.

- ۱- پیت خزه‌ای^۲ عبارتست از بقایای خزه‌ها مانند اسفاگونوم.
 - ۲- پیت علفی، بقایای گیاهان علفی مانند جگن، نی و لولی می‌باشد.
 - ۳- پیت چوبی. بقایای گیاهان چوبی مانند درختان و بوته‌ها می‌باشد.
 - ۴- پیت رسوبی، بقایای گیاهان آبرزی مانند جلبک‌ها و فضولات حیوانات آبرزی.
- ته‌نشست‌های آلی معمولاً شامل دو نوع و یا انواع بیشتر پیت‌ها می‌باشند. لایه‌بندی متناوب از پیت‌های مختلف و همچنین مخلوط پیت‌ها معمول می‌باشد. به دلیل توالی و غلبه نباتات به‌محض تراکم بقایا شرایط برای رشد درختان مناسب می‌گردد (شکل ۲۳-۲ را مشاهده کنید) پیت‌های چوبی اغلب در قسمت فوقانی مواد آلی قرار دارند.

^۱ - Cinders

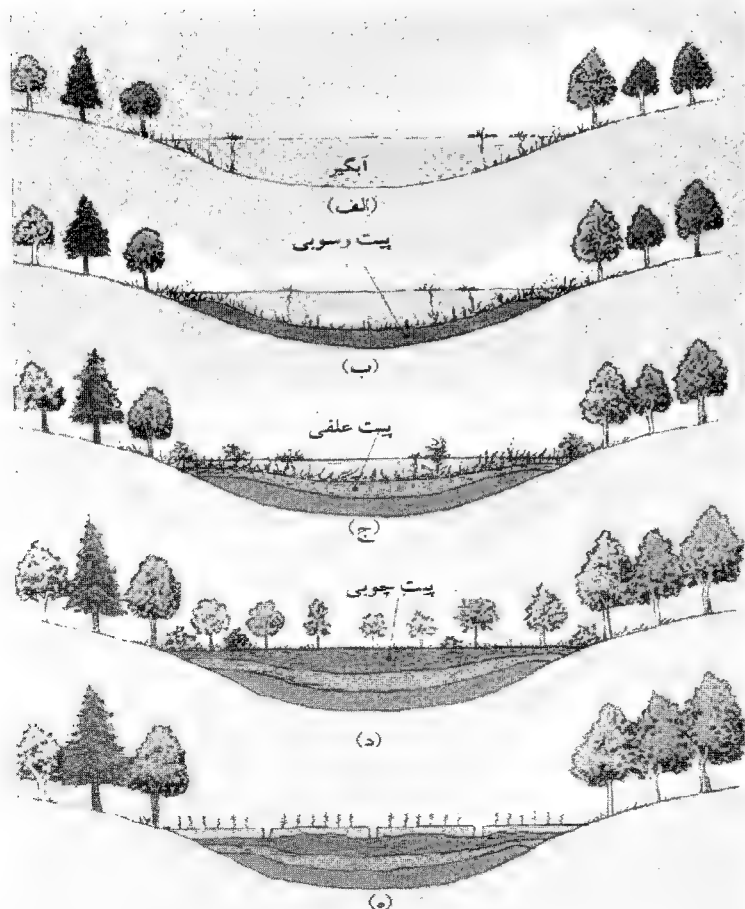
^۲ - Moss peat

در مواقعی که اراضی ماندابی زه‌کشی می‌شوند، پیت‌های چوبی سبب ایجاد خاک‌های کشاورزی با توان تولید بالا می‌گردند که در تولید سبزی‌ها بسیار پرازش می‌باشند. پیت خزهای دارای ظرفیت نگهداری آب زیادی بوده و درضمن آن‌ها کاملاً اسیدی می‌باشند. پیت رسوبی معمولاً به‌عنوان خاک نامطلوب می‌باشد، این مواد بسیار کلوییدی و متراکم بوده و در حالت خیس بودن لاستیک مانند می‌باشند. پیت رسوبی در صورت خشک شدن در مقابل خیس شدن مجدد مقاومت کرده و نا هموار و سخت باقی می‌ماند، خوشبختانه این نوع پیت عمدتاً در قسمت‌های عمیق خاک‌رخ وجود داشته و معمولاً مشاهده نمی‌شوند مگر در صورت زه‌کشی اراضی باتلاقی که مشکلاتی را فراهم می‌کند.

اگر پس‌مانده‌های گیاهی چنان دست‌نخورده باقی مانده باشد که اشکال گیاهی قابل تشخیص باشند به ماده‌ی آلی پیت و یا فیبریک^۱ گفته می‌شود و اگر اکثر مواد چنان تجزیه شده باشند که تشخیص اندامهای گیاهی مشکل باشد به آن واژه ماک^۲ و یا ساپریک^۳ اطلاق می‌شود. در پیت‌های ماک^۴ یا همیک^۴ بخشی از اندامهای گیاهی قابل تشخیص بوده و بعضی قابل تشخیص نمی‌باشد.

حفظ اراضی مرطوب: مناطق با اراضی مرطوب از نظر زیستگاههای طبیعی برای حیات وحش بااهمیت می‌باشند و زه‌کشی آن‌ها وسعت این زیستگاهها را کاهش می‌دهد. درحالی‌که ماده‌ی آلی مبنایی برای خاک‌های دارای توان تولید بالا شمار می‌رود متخصصین محیط زیست استدلال می‌کنند این کاربری ناپایدار است، زیرا به محض زه‌کشی این اراضی بعد از یک قرن و یا بیشتر ماده‌ی آلی تجزیه و ناپدید می‌گردد. بنابراین این اراضی باید در حالت طبیعی خود نگهداری شده و یا در صورت تبدیل به آن برگردانده شوند. (بخش ۸-۷ را مشاهده کنید).

با این درک که اثرات مواد مادری بر روی خصوصیات خاک بواسطه‌ی اثرات مشترک اقلیم با فعالیت‌های زیستی، پستی و بلندی و زمان تغییر می‌کند حال به تشریح چهار عامل دیگر خاک می‌پردازیم و بحث خود را با اقلیم آغاز می‌کنیم.



شکل ۲۳-۲۴ مراحل تکامل یک مرداب شاخص با پیت‌های چوبی و وضعیت اراضی پس از جنگل‌تراشی و زه‌کشی. (الف) رواناب حاوی مواد غذایی از اراضی مرتفع پیرامونی سبب تقویت رشد گیاهان آب‌زی به‌خصوص در حاشیه آبگیرها می‌شود. (ب و ج) مواد آلی کف آبگیرها را می‌پوشاند (د) نهایتاً درختان تمام منطقه را می‌پوشانند. (و) اگر اراضی جنگل‌تراشی شود و شبکه زه‌کشی نصب گردد به خاک‌های ماک با بیشترین توان تولیدی تبدیل خواهد شد.

۱ - Fibric
۲ - Muck
۳ - Sapric
۴ - Hemic

۱۳-۲ اقلیم

اقلیم شاید در بین ۴ عامل مؤثر بر روی مواد مادری مؤثرترین باشد، زیرا سرشت و سرعت هوازدگی احتمالی را در مناطق وسیع جغرافیایی مشخص می‌کند. متغیرین اصلی اقلیم مؤثر در تشکیل خاک عبارتند از بارندگی مؤثر (تابلو ۱-۲ را مشاهده کنید) و دما که هر دو در میزان فرایندهای شیمیایی، فیزیکی و زیستی مؤثر می‌باشند.

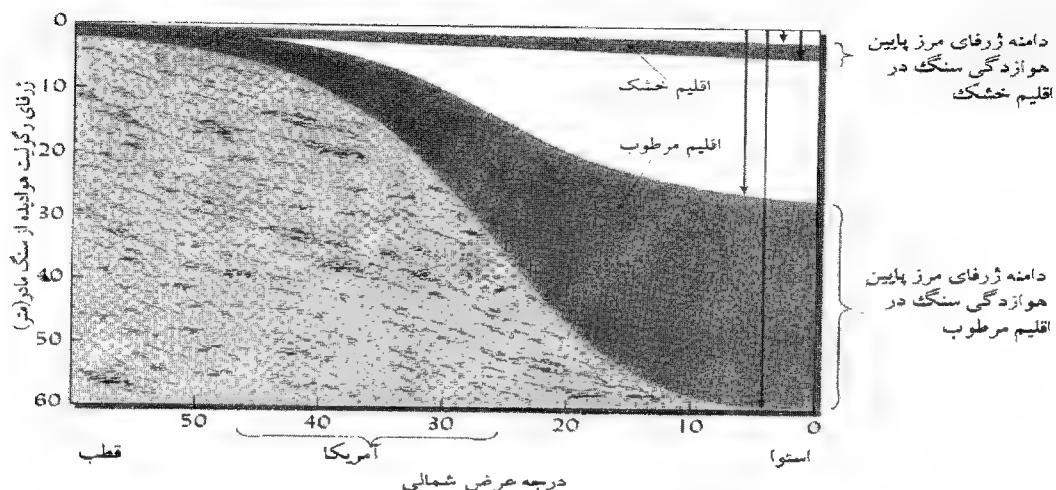
بارندگی مؤثر

قبلاً مشاهده کردیم (بخش ۳-۲) که آب برای واکنش‌های عمده شیمیایی اساسی می‌باشد. برای مؤثربودن در تشکیل خاک آب باید در رگولیت نفوذ کند هرچه عمق انتشار آب بیشتر باشد ژرفای هوازدگی و تشکیل خاک بیشتر خواهد بود. آب اضافی که در داخل خاک نفوذ عمقی داشته باشد سبب انتقال مواد محلول و معلق از لایه‌های بالایی به لایه‌های زیرین خواهد شد. این آب ممکن است مواد محلول در آب زه‌کشی را نیز خارج کند. بنابراین، نفوذ عمقی آب سبب تقویت واکنش‌های هوازدگی و تفکیک افق‌های خاک می‌شود. کمبود آب همچنین عامل مهم در تعیین خصوصیات خاک‌های مناطق خشک است. نمک‌های محلول از این خاک‌ها شسته نمی‌شوند و در بعضی موارد مقدار آن‌ها چنان افزایش می‌یابد که مانع رشد نباتات شود. خاک‌رخ در مناطق خشک و نیمه‌خشک تراکم کربنات‌ها و انواع خاص رس‌های قابل انبساط را میسر سازد.

دما

با افزایش هر ۱۰ درجه دما برحسب سانتی‌گراد میزان واکنش‌های شیمی-زیستی افزون بر دو برابر می‌شود. دما و رطوبت هر دو در میزان ماده‌ی آلی خاک از طریق اثر آن‌ها در تعادل بین رشد نبات و تجزیه میکروبی مؤثر می‌باشند (شکل ۱۵-۱۲ را مشاهده کنید). اگر دمای مناسب و میزان آب کافی در خاک‌رخ همزمان موجود باشند، فرایند هوازدگی، آبشویی و رشد گیاهی به پیشینه مقدار خواهد رسید. کمترین میزان توسعه خاک‌رخ که مشخصه‌ی مناطق سرد است با خاک‌رخ‌های هوازده‌ی خیلی عمیق که مختص مناطق گرم مرطوب است به‌شدت در تعارض می‌باشد (شکل ۲۴-۲).

اقلیم همچنین در پوشش گیاهی طبیعی مؤثر است. اقالیم مرطوب مناسب رشد درختان می‌باشد (شکل ۲۵-۲). برعکس گیاهان چمنی پوشش طبیعی غالب در مناطق نیمه مرطوب و نیمه‌خشک است، درحالی‌که بوته‌ها و خارها از انواع مختلف در مناطق خشک غالب می‌باشند. بنابراین اقلیم تأثیر خود را از طریق دومین عامل تشکیل خاک، یعنی موجودات زنده اعمال می‌کند.



شکل ۲-۲۴ تشریح اثرات کلی دو متغیر اقلیمی، دما و رطوبت (بارندگی) بر عمق هوازدگی رگولیت در سنگ یستر. منطقه سایه خورده، پیکانگر دامنه‌ی توسعه‌ی رگولیت است. در اقالیم سرد (منطقه‌ی قطبی) رگولیت هم در تحت شرایط مرطوب و هم خشک کم عمق می‌باشد. در عرض‌های پایین (دمای بالاتر) عمق رگولیت در مناطق مرطوب به تندی افزایش می‌یابد اما در مناطق خشک کمتر تحت تأثیر قرار می‌گیرد. در اقالیم گرمسیری مرطوب عمق رگولیت ممکن است ۵۰ متر یا بیشتر باشد. پیکان‌های قائم پیکانگر عمق هوازدگی در نزدیکی استوا می‌باشد. به‌خاطر بیاورید که ممکن است ژرفای خاک به اندازه‌ی ژرفای رگولیت نباشد.

تابلو ۱-۲ باران مؤثر برای تشکیل خاک

آب حاصل از بارندگی و ذوب برف نیاز اصلی برای هوادیدگی مواد مادری و تکامل خاک است. برای ارتقای تکامل خاک آب نباید تنها داخل خاک‌رخ شده و در در واکنش‌های هوادیدگی شرکت کند، بلکه باید داخل خاک‌رخ نفوذ عمقی داشته و مواد محلول حاصل از هوادیدگی را منتقل کند.

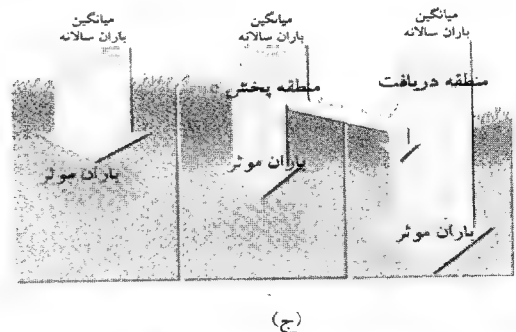
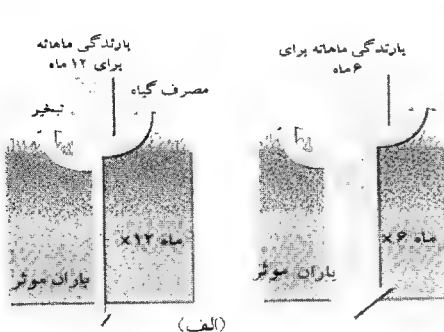
اجازه دهید منطقه‌ای را که ۶۰۰ میلیمتر بارندگی سالانه دریافت می‌دارد مورد مطالعه قرار دهیم. اندازه زهاب از داخل خاک نه‌تنها به‌وسیله‌ی کل بارندگی سالانه تعیین می‌شود بلکه حداقل ۴ عامل دیگر نیز در آن مؤثر می‌باشند.

الف - توزیع فصلی بارندگی: ۶۰۰ میلیمتر بارندگی به‌طور یکنواخت در طول سال با حدود ۵۰ میلی‌متر در هر ماه توزیع یافته است کمتر سبب آیشویی خاک‌رخ و یا فرسایش در مقایسه با همان بارندگی می‌باشد که میزان ۱۰۰ میلیمتر در ماه در طول ۶ ماه در آن نازل می‌گردد.

ب - دما و تبخیر: در یک اقلیم گرم میزان تبخیر از خاک‌ها و پوشش گیاهی به‌مراتب بیشتر از اقلیمی خنک‌تر است. بنابراین در اقلیم گرم مقدار بسیار کمی از ۶۰۰ میلیمتر بارندگی سالانه برای نفوذ عمقی و آیشویی قابل استفاده می‌باشد، چه اکثر و یا تمام بارندگی بلافاصله پس از بارش بر روی زمین تبخیر می‌شوند. بنابراین ۶۰۰ میلیمتر بارندگی در اقلیم خنک سبب سستشوی بیشتر و تکامل زیادتر خاک‌رخ در مقایسه با اقلیم گرم‌تر می‌شود. بر همین روال بارندگیهای ملایم زمستانه (مانند کالیفرنیا) در آیشویی خاک از همان مقدار بارندگی که در تابستان تمرکز یافته‌است (منطقه دشت‌های بزرگ) بیشتر مؤثر می‌باشند.

ج - پستی و بلندی: بارانی که بر روی یک زمین پر شیب نازل می‌شود چنان به‌طرف پایین شیب جاری می‌شود که بخش کوچکی به‌داخل خاک در محل بارش نفوذ می‌کند. بنابراین، در یک شیب مسطح و یا مقعر که همان مقدار باران را در مقایسه با یک شیب تند دریافت می‌دارند میزان آیشویی و نفوذ عمقی بیشتر صورت می‌گیرد. می‌توان گفت که باران مؤثر در یک زمین تراز بیشتر از یک شیب تند است. شیب مقعر بیشترین باران مؤثر را دریافت می‌دارد زیرا علاوه بر باران مستقیم، مقداری از رواناب اراضی شیب‌دار مجاور را نیز دریافت می‌دارد.

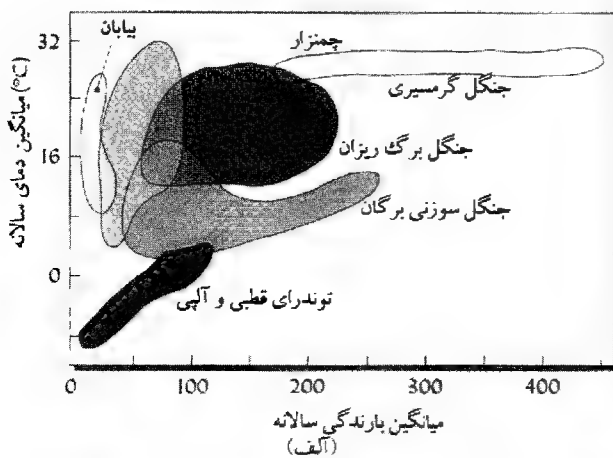
د - تراوایی: در صورتی که شرایط سه‌گانه فوق‌الذکر یکسان باشند میزان آب بیشتری از داخل یک خاک‌رخ با خاک شنی درشت در مقایسه با یک خاک رسی سفت عبور کرده و عناصر را آیشویی می‌کند. بنابراین، می‌توان گفت خاک‌رخ دارای خاک‌های شنی بارندگی مؤثر بیشتری را دریافت داشته و در آن‌ها تکامل سریع‌تر خاک قابل انتظار است.



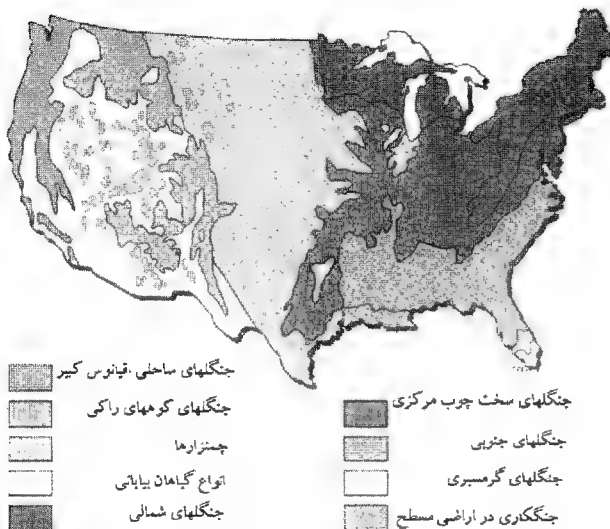
با ملاحظه خاک‌های مشابه از نظر رژیم حرارتی، مواد مادری، پستی‌وبلندی و زمان افزایش بارندگی مؤثر سالانه معمولاً سبب افزایش میزان رس، ماده‌ی آلی، اسیدیته شدیدتر و نسبت اندک Si/Al (شاخص کانی‌های خیلی هوازه، جدول ۲-۳ را مشاهده کنید) می‌شود. هرچند در بسیاری جاها، اقلیمی را در دوره‌های زمین‌شناسی گذشته شاهد بوده است که بهیچ‌وجه مشابهتی با اقلیم امروزی ندارد. این واقعیت در بسیاری از اراضی قدیمی خاص در مناطق خشک به‌روشنی دیده می‌شود. در این اراضی، خاک‌های شدیداً آبشویی شده و هوا دیده شاهد و نشانه‌ی اقلیم گرم و مرطوب غالب در هزاران سال قبل در آنجا می‌باشد.

۱۴-۲ موجودات زنده

جانداران خاک نقش عمده‌ای در تمایز خاک‌رخ‌ها ایفا می‌کنند. تراکم مواد آلی، هوایدگی زیست‌شیمی، مخلوط‌شدن نیم‌رخ، چرخه‌ی عناصر غذایی و ثبات ساختمانی همگی بر اثر فعالیت جانداران در خاک تشدید می‌شود. پوشش گیاهی سبب کاهش میزان فرسایش طبیعی و بنابراین کندشدن میزان برداشت مواد معدنی سطحی می‌شود. اسیدهای آلی تولیدشده به‌وسیله‌ی انواع خاص لاشیرگ سبب محلول‌شدن آهن و آلومینیوم بر اثر همتافت آن‌ها گردیده و باعث حرکت رو به پایین این فلزات و تراکم آن‌ها در افق B می‌گردد.



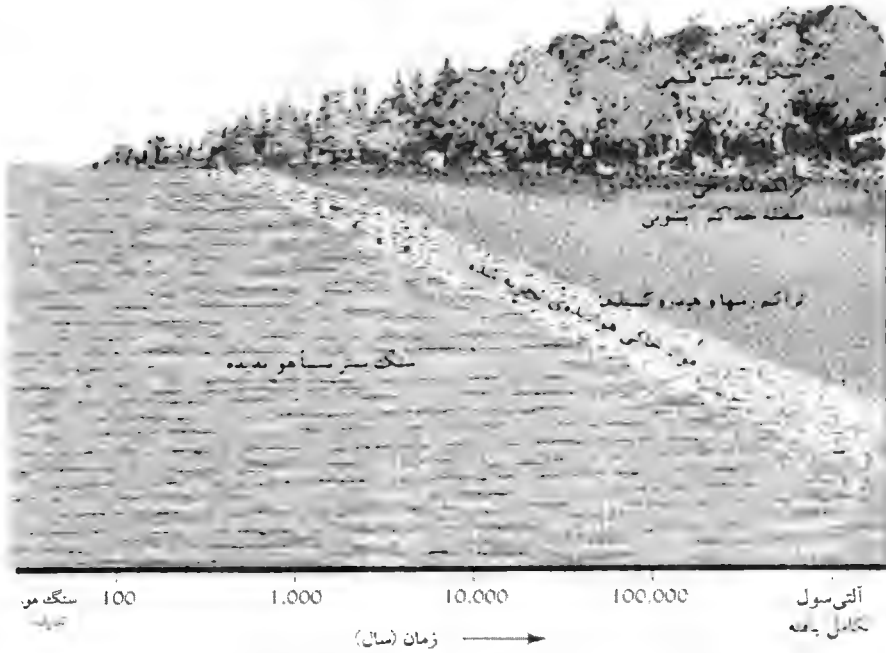
شکل ۲۵-۲ اثر اقلیم بر پوشش گیاهی
(الف) رابطه کلی بین دمای متوسط سالانه،
بارندگی و نوع پوشش گیاهی (ب) انواع کلی
پوشش گیاهی در ایالات متحده آمریکا.



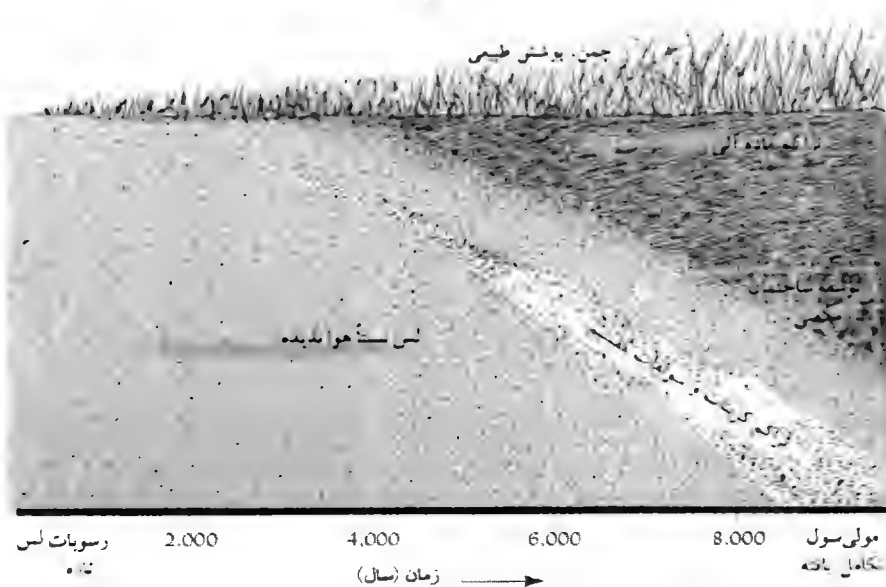
(ب)

نقش پوشش گیاهی طبیعی

تکامل افق A: اثر پوشش گیاهی در خاک‌سازی می‌تواند با مقایسه خاک‌های تشکیل شده در زیر پوشش جنگل و علف‌زار در نزدیکی مرز بین این دو بوم‌سامان مشخص گردد (شکل ۲۶-۲۷). در چمن‌زار، بیشتر ماده‌ی آلی اضافه‌شده به خاک از سامانه‌ی ریشه فیبری عمیق ناشی می‌شود. برعکس برگ درختان خزان کرده بر کف جنگل منبع اصلی ماده‌ی آلی در جنگل می‌باشد. در نتیجه، خاک‌ها در زیر علف‌زار معمولاً دارای افق ضخیم‌تر A با توزیع عمیق‌تر ماده‌ی آلی در مقایسه با خاک‌های جنگلی می‌باشند که به‌طور خاص اکثر ماده‌ی آلی خود را در کف جنگل و افق نازک A ذخیره کرده‌اند. افق روشن آیشویی شده E که به‌طور شاخص در زیر افق O و یا A در خاک‌های جنگلی یافت می‌شود در خاک‌های چمن‌زار وجود ندارد. پایداری ساختمانی خاکدانه‌های معدنی در خاک‌های چمن‌زار بیشتر از خاک‌های جنگلی است.

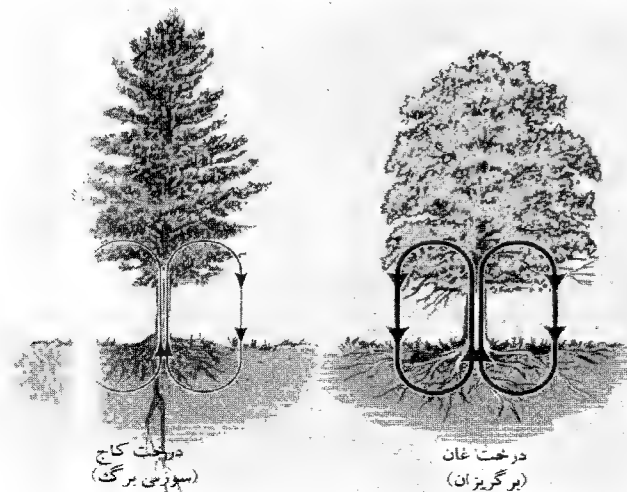


شکل ۲۶-۲۷ چگونه دو خاک‌رخ در مناطق اقلیمی با پوشش طبیعی مربوطه چه جنگل (الف) و چه مرتع (ب) تکامل یافته‌اند تراکم ماده‌ی آلی در افق‌های فوقانی در طول زمان انجام گرفته و مقدار و چگونگی توزیع آن وابسته به نوع پوشش گیاهی موجود می‌باشد. تراکم رس و اکسیدهای آهن با مشخصات مشخص در افق‌های پایین توسعه می‌یابد محصولات نهایی از مواد اولیه‌ی خاکی که از آن تکامل یافته‌اند به‌طور بارز متفاوت می‌باشند توجه کنید که مقیاس زمانی در تکامل خاک برای دو ماده مادری به‌طور چشمگیری متفاوت می‌باشد.



(ب)

چرخه‌ی کاتیون‌ها به وسیله‌ی درختان: توانایی پوشش طبیعی برای جذب عناصر غذایی به‌طور زیادی در خصوصیات خاک ایجاد شده به‌خصوص اسیدیته آن مؤثر است. لاشبرگ حاصل از درختان سوزنی‌برگ (کاج‌ها و نرادها) مقادیر اندکی از کلسیم، منیزیم و پتاسیم را درمقایسه با لاشبرگ حاصل از بعضی از درختان خزان‌کننده (راش، بلوط و افرا) که مقادیر زیادی از این کاتیون‌های فلزی را جذب و ذخیره می‌کنند در چرخه قرار می‌دهند (شکل ۲۷-۲۸) از آنجاکه ریشه درختان سوزنی‌برگ امکان می‌دهند که مقدار زیادی از این کاتیون‌های بازی بر اثر آیشویی از دست بروند، اسیدیته خاک در رویشگاه اکثر سوزنی‌برگان درمقایسه با درختان خزان‌کننده به‌طور قوی‌تر ایج - می‌شود. برگ‌های سوزنی اسیدی صمغ‌دار تمایل دارند که در افق O با لایه‌های مشخص از مواد فیبریک (تجزیه‌نشده) و ساپریک (به‌شد - تجزیه‌شده) تراکم یابند. برگ‌های درختان برگ‌ریزان که با سهولت تجزیه می‌شوند معمولاً یک بستر کم‌عمق جنگلی بدون لایه مشخص ایجاد می‌کنند.



شکل ۲۷-۲۸ چرخه‌ی عناصر غذایی یک عامل مهم در تعیین رابطه بین پوشش گیاهی و خاک تکامل‌یافته مربوطه می‌باشد. اگر بقایای حاصل از پوشش گیاهی از نظر کاتیون‌های بازی فقیر باشد مانند اکثر سوزنی‌برگان مانند گونه‌های کاج (چپ عکس) شرایط هوادیدگی اسیدی غالب خواهد بود. پس مانده‌های گیاهی غنی از کاتیون‌های بازی مانند بسیاری از درختان برگ‌ریزان از جمله راش اروپایی تمایل دارند که اسیدها را خنثی کرده و بنابراین شرایطی مطلوب برای هوادیدگی نسبتاً اسیدی و یا خنثی فراهم آورند.

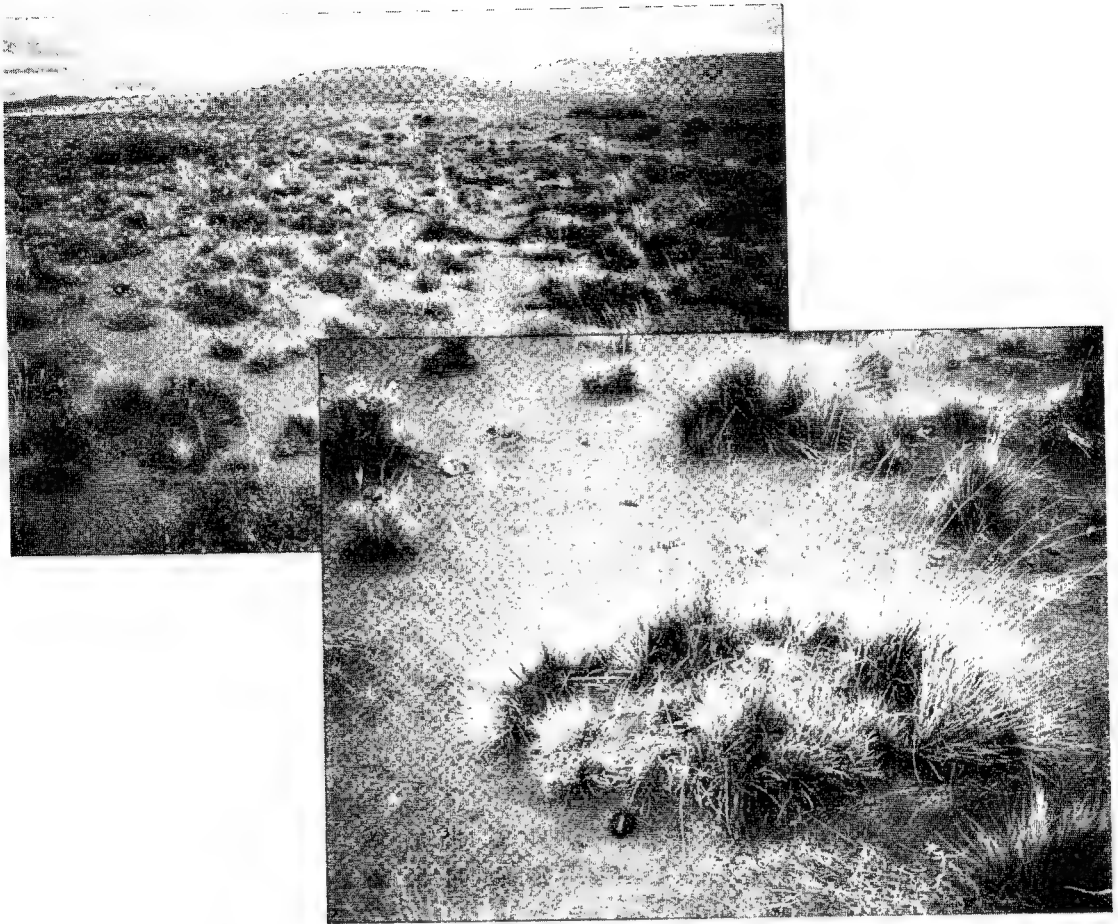
غیرهمگونی در مراتع: در مراتع خشک و نیمه‌خشک، رقابت برای آب محدود اجازه نمی‌دهد که پوشش گیاهی چنان مترا باشد که سطح خاک را به‌طور کامل پوشش دهد و شامل بوته‌های پراکنده و یا گیاهان چمنی کپه‌ای با فضای باز در تاج پوشش است که زیر آنها خاک عریان بوده و یا به‌طور نسبی به‌وسیله‌ی لاشبرگ پوشیده شده‌است. پوشش گیاهی با پراکندگی زیاد خصوصیات خاک و راه‌های مختلف تغییر می‌دهد. تاج پوشش گیاهان گرد و غبار بادرفت را، که اغلب به‌طور نسبی از لای و رس غنی است بدام می‌اندازد. ریشه عناصر غذایی را مانند اژت، فسفر، پتاسیم و گوگرد در فضای بین بوته‌ها جمع‌آوری می‌کند. این عناصر غذایی بعداً اغلب همراه با لاشبرگ در زیر تاج پوشش ته‌نشین می‌شود.

تجزیه‌ی لاشبرگ سبب اضافه‌شدن اسیدهای آلی، و در نتیجه پایین آمدن pH خاک و تقویت هوادیدگی کانی‌ها می‌شود. با پ - مدت زمان باروری مناطق لخت بین بوته‌ها کاهش یافته و ممکن است سطح آن‌ها با فقیر شدن و نامطلوب‌گشتن برای استقرار پوشش گیاهی - ریش یابد. همزمان، پوشش گیاهی موجود سبب ایجاد جزیره‌های بارور، افق ضخیم‌تر A و کربنات کلسیم آیشویی شده به اعماق ژرف‌تر - شود (شکل ۲۸-۲۹ را مشاهده کنید).

نقش جانوران

نقش جانوران در فرایند خاک‌سازی نباید نادیده گرفته شود. برای مثال حیوانات بزرگ مانند موش حفار، موش کور و یک علف‌زار در طبقات پایین خاک حفاری کرده و سبب بالاآمدن مواد اعماق به سطح می‌شوند. دالان‌های لانه‌ی آنان اغلب به سطح خاک باز می‌شود و سبب تقویت حرکت آب و هوا به لایه‌های پایین می‌گردد. در نقاط موضعی آن‌ها سبب مخلوط‌شدن لایه‌های پایین با لایه‌های بالا با ایجاد دالان‌های زیرزمینی و برگردن بعدی آن می‌شوند. برای مثال، جمعیت زیاد سگ‌های علف‌زار ممکن است یک متر سطح خاک را در طول چند هزار سال به‌طور کامل زیرورو کند. حفره‌های ایجادشده به‌وسیله‌ی حیوانات در افق‌های پایین سبب ایجاد چهره‌های در خاکرخ می‌شود که به آن کروتوینا^۱ می‌گویند (شکل ۲۹-۳۰).

^۱ - Crotoquina



شکل ۲۸-۲ گیاهان چمنی بالشتکی در این مراتع نیمه‌خشک در منطقه پاتاگونی^۱ آرژانتین سبب ایجاد جزیره‌ای از خاک‌ها با باروری بالا و افق A ضخیم می‌باشد. یک درپوش عدسی‌دوربین در لبه‌ی یکی از این جزیره‌ها به‌صورت مقیاس عمل کرده و ضخامت افزایش یافته خاک را در زیر تاج‌پوشش گیاهان نشان می‌دهد. این چنین غیرهمگونی خاک در مقیاس کوچک در ارتباط با خاک وقتی محدودیت آب خاک از پوشش کامل نبات جلوگیری می‌کند معمول می‌باشد.

کرم‌های خاکی : کرم‌های خاکی و سایر حیوانات کوچک سبب مخلوط‌کردن مقدار قابل توجهی خاک هنگام حفاری در داخل آن گردیده، و به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای در تشکیل خاک مؤثر می‌باشند. کرم‌های خاکی ذرات خاک و مواد آلی را بلعیده و سبب قابل استفاده کردن عناصر غذایی مورد نیاز نبات در موادی که از بدن آن‌ها می‌گذرد، می‌گردند. آن‌ها سبب هواداشدن خاک، بهم‌خوردن و افزایش پایداری خاکدانه‌ها و تضمین نفوذپذیری بهتر خاک می‌شوند. مورچه‌ها و موریانه‌ها در ساختن لانه و تپه‌ها سبب انتقال خاک از یک افق به افق دیگر می‌گردند، به‌طور کلی، فعالیت‌های مخلوط‌کردن حیوانات که بعضی مواقع به آن گردش خاک^۲ گفته می‌شود سبب می‌گردد که تأثیر سایر فرایندهای خاک‌سازی در تفکیک و ایجاد اختلاف در افق‌ها از بین رفته و یا بی‌اثر گردد.

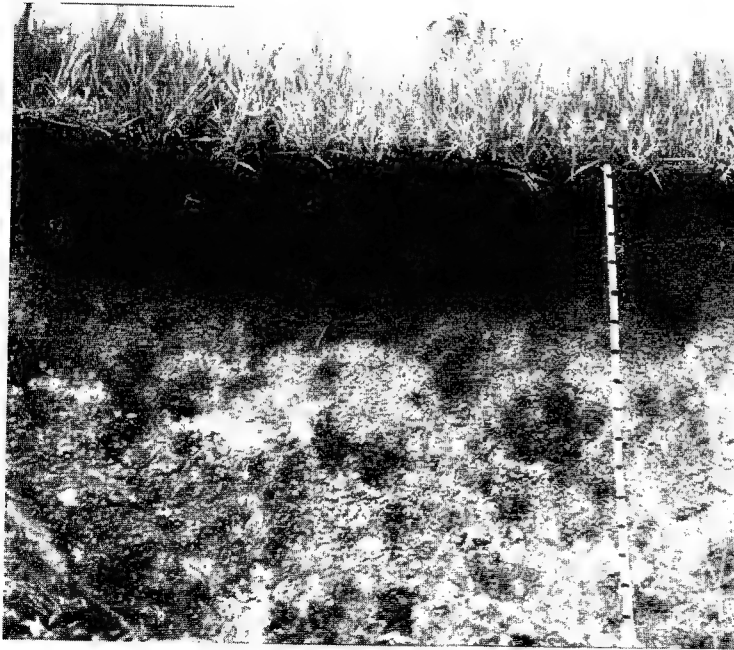
تأثیر انسان : فعالیت‌های انسان نیز در خاک‌سازی مؤثر است. برای نمونه اعتقاد بر این است که بومیان آمریکا به‌طور مرتب آتش‌زدن را برای حفظ اراضی بزرگ چمن‌زار در ایالت‌های ایندیانا و میشیگان انجام می‌دادند. در زمان‌های جدید، تخریب پوشش گیاهی به‌وسیله‌ی انسان (درختان و چمن‌زارها) و خاک‌ورزی متعاقب آن برای تولید محصولات به‌طور شدیدی سبب تغییر خاک‌سازی گردیده است.

همین‌طور، آبیاری خاک در یک منطقه‌ی خشک به‌طور شدیدی در عوامل خاک‌سازی مؤثر است. کوددادن و مصرف آهک در خاک‌ها با باروری اندک نیز همین کار را انجام می‌دهد. در حفاری‌های سطحی و شهرک‌سازی‌ها امروزه بولدزرها ممکن است همانند یخچال‌های کهن

^۱ - Patagonia

^۲ - Pedoturbation

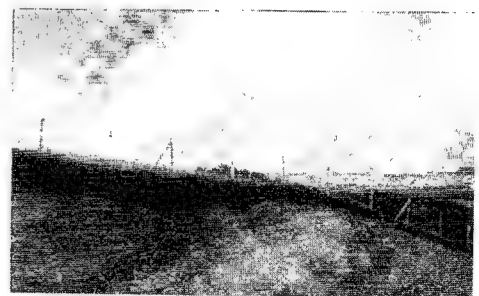
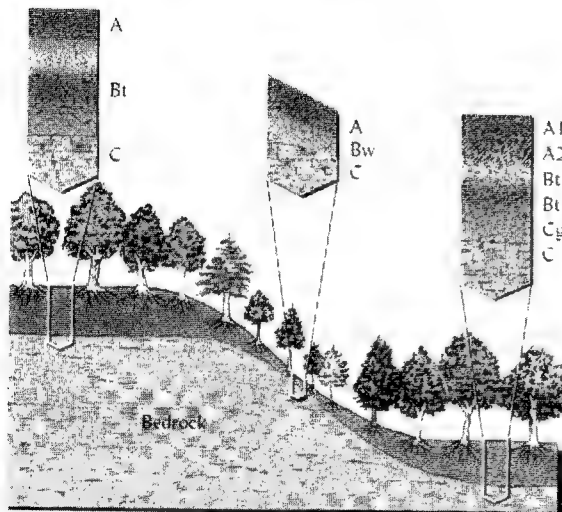
بر روی خاک تأثیرگذار باشند. آن‌ها سبب صاف شدن و مخلوط گشتن افق‌های خاک شده و عقربه‌ی ساعت خاک‌سازی را به روی عدد صفر باز می‌گردانند.



شکل ۲۹-۲ حفرة‌های متروکه‌ی حیوانات در یک افق که از خاک افق‌های دیگر پر شده است کروتووینا نام دارد. از این خاک چمن‌زار اپلینوی مواد آلی تیره غنی از افق A حفرة‌های قدیمی سگ علف‌زار را که تا افق B ادامه دارد پر کرده است شکل تیره حلقوی در خاک تحت‌الارض مشخص می‌سازد که دیواره خاک‌رخ کجا این حفرة‌ها را قطع کرده است. مقیاس هر ۱۰ سانتی‌متر مشخص شده است.

۲-۱۵ پستی و بلندی

پستی و بلندی در ارتباط با شکل ظاهری سطح زمین بوده و با واژه‌هایی در ارتباط با اختلاف ارتفاع، شیب و موقعیت در زمین‌نما مورد تشریح قرار می‌گیرد و یا به عبارت دیگر طرز استقرار زمین است. پستی و بلندی می‌تواند سبب تسریع و یا کندی عوامل اقلیمی گردد. (تابلو ۲-۱ را مشاهده کنید) شیب‌های تند معمولاً سبب فرسایش لایه سطحی گردیده و امکان نفوذ کمتری به آب باران قبل از بروز رواناب می‌دهد، بنابراین، از تشکیل خاک به میزان خیلی بیشتر از تخریب خاک ممانعت می‌شود. در مناطق نیمه‌خشک، رطوبت مؤثر کمتر در شیب‌های تند سبب ایجاد پوشش بسیار پراکنده و کمتر متنوع می‌شود. بنابراین خاک‌ها در روی اراضی پر شیب دارای خاک‌رخ‌های نسبتاً کم عمق با تفکیک ضعیف افق‌ها (شکل ۳۰-۲) در مقایسه با خاک‌های مجاور بر روی شیب‌های آرام می‌باشد.



شکل ۳۰-۲ پستی و بلندی در خصوصیات خاک، از جمله عمق تأثیرگذار است نمودار سمت چپ نشان‌دهنده‌ی اثر شیب بر خصوصیات خاک‌رخ و عمق خاک است که در آن درختان جنگلی پوشش طبیعی می‌باشند. عکس سمت راست همان اصول را در پوشش مرتعی تشریح می‌کند. اغلب یک تغییر نسبتاً کوچک در شیب اثر بسیار بزرگی در تکامل خاک دارد. بخش ۲-۱۸ را برای توضیح علائم افق‌ها مشاهده کنید.

تعامل پستی‌وبلندی یا پوشش گیاهی : پستی‌وبلندی اغلب برای تأثیر بر روی خاک‌سازی یا پوشش گیاهی در واکنش متقابل می‌باشد. در منطقه انتقالی بین جنگل و مرتع، معمولاً درختان در گودیهایی کوچکی که خاک آن‌ها معمولاً مرطوب‌تر از اراضی بالاتر می‌باشد، استقرار یافته‌اند. همان‌طور که انتظار می‌رود طبیعت خاک در گودیها کاملاً از اراضی بالادست آن متفاوت است. اگر آب در بخشی از سال و یا در تمام آن در گودیها باقی بماند، اقلیم در تنظیم تکامل خاک کمتر مؤثر است. اراضی پست ممکن است سبب ایجاد مرداب‌های پست و خاک‌های آلی گردند (شکل ۲۳-۲۴ را مطالعه کنید).

جنبه شیب: پستی‌وبلندی در جذب انرژی آفتاب در یک چشم‌انداز خاص مؤثر است. در نیمکره‌ی شمالی شیب‌های رو به جنوب بیشتر بر اشعه آفتاب عمود بوده و معمولاً گرم‌تر و در نتیجه دارای رطوبت کمتری نسبت به شیب‌های رو به شمال مجاور خود می‌باشند (شکل ۲۲-۲۷ را مشاهده کنید). بنابراین خاک‌ها بروی شیب‌های جنوبی احتمالاً دارای ماده‌ی آلی کمتر بوده و عمیقاً هوازده نمی‌باشند.

تجمع نمک: در مناطق خشک و نیمه‌خشک پستی‌وبلندی در تجمع نمکهای محلول مؤثر است. نمکهای محلول از خاک‌های مناطق بلند اطراف از طریق سطح خاک و سطح آب زیرزمینی به مناطق پست حرکت می‌کنند. در این نقاط نمکها در اثر تبخیر آب بالا آمده و در مقادیر سمی برای نباتات تجمع می‌یابند.

تعامل با مواد مادری : پستی‌وبلندی همچنین می‌تواند با مواد مادری در تعامل باشد برای مثال در مناطق با سنگ‌های رسوبی مورب قله‌ها معمولاً شامل سنگ مقاوم بوده در صورتی که دره‌ها به وسیله‌ی سنگ آهک قابل هوازدهی اشغال شده است. در بسیاری از اراضی پستی‌وبلندی منعکس‌کننده‌ی توزیع مواد مادری در جا، کوه‌رفت و آبرفت می‌باشد. مواد مادری در جا در بالاترین بخش شیب قرار داشته، و مواد مادری کوه‌رفت بخش پایین شیب را پوشانده و آبرفت کف دره‌ها را پر می‌کند. (شکل ۳۱-۲)



شکل ۳۱-۲ تعامل بین پستی‌وبلندی و مواد مادری به عنوان عامل خاک‌سازی. خاک‌ها روی قله، پنجه شیب، سیل‌دشت در این چشم‌انداز شاخص از سواد مادری در جا و کوه‌رفت و آبرفت تشکیل شده است.

۱۶-۲ زمان

فرایندهای تشکیل خاک برای نشان‌دادن اثرات خود نیازمند زمان می‌باشند. عقریه ساعت خاک‌سازی وقتی شروع به حرکت می‌کند که یک لغزش زمین سنگ جدیدی را در سطح خاک در معرض محیط هواپدگی قرار دهد. یک رودخانه طغیانی یک لایه جدید از ته‌نشست‌ها را در سیل‌دشت خود به جای گذارد، یک یخچال طبیعی ذوب شود و بار ته‌نشست مواد معدنی خود را به زمین می‌گذارد و یا وقتی یک بولدوژ در یک زمین نما خاک‌برداری و خاکریزی کرده و آن را برای ساختمان‌سازی و یا مرمت معدن تسطیح کند.

نرخ هوازدهی : وقتی سایر عوامل خاک‌سازی مطلوب می‌باشند، ممکن است ماده آلی برای تشکیل افق A تیره در یک و یا دو دهه تجمع یابد. در بعضی موارد یک افق B آغازین در خاک‌های نخله معدن در مناطق مرطوب در طی ۴۰ سال قابل تمیز است. هرچند تشکیل یک افق B با رنگ و ساختمان تغییر یافته معمولاً نیازمند قرن‌ها زمان است. تراکم رس‌های سیلیکاتی معمولاً پس از هزاران سال قابل تجمع خواهد بود. یک خاک تکامل یافته عمیقاً هوازده ممکن است نیازمند صدها و یا هزارها سال برای تشکیل باشد.

وقتی از یک خاک جوان و یا تکامل‌یافته صحبت می‌کنیم خیلی به سن خاک برحسب سال توجه نداشته و میزان هوادیدگی و تکامل خاک‌رخ موردنظر می‌باشد. زمان با سایر عوامل تشکیل خاک در تعامل می‌باشد در یک اقلیم گرم که بیشتر بارندگی بر روی مواد مادری قابل نفوذ غنی از کانی‌های قابل هوادیدگی نازل می‌شود. هوادیدگی و تفکیک افق‌های خاک بسیار سریعتر از منطقه‌ای با شیب تند و مواد مادری مقاوم در یک منطقه خشک و سرد به پیش خواهد رفت.

در چند مورد نادر تشکیل خاک چنان سریع است که فرایند خاک‌سازی قابل مشاهده بوده و اثر زمان در طول عمر انسان قابل اندازه‌گیری می‌باشد. نمونه‌ها شامل تشکیل سریع افق A در یک آبرفت بارور جوان و تغییرات کانی‌شناسی، رنگ و ساختمان در مواد دارای سولفید است که اول بار در اثر استخراج معدن، زه‌کشی و عملیات لایروبی با هوا مواجه می‌شود.

توالی زمانی^۱: اکثر چهره‌های خاک‌رخ چنان با کندی تکامل می‌یابند که اندازه‌گیری تغییرات ناشی از زمان در تشکیل آن‌ها امکان‌پذیر نیست. روش‌های غیرمستقیم مانند کربن ۱۴، وجود سنگواره‌ها و یا اشیاء ساخت انسان برای مشخص ساختن زمان لازم برای تحقق جنبه‌های مختلف خاک‌سازی باید مورد توجه قرار گیرد. در رهیافت دیگر برای مطالعه اثر زمان در تشکیل خاک دانشمندان خاک به توالی زمانی نگاه می‌کنند که عبارتست از مجموعه‌ای از خاک‌ها با خصوصیات یکسان از نظر موجودات زنده، اقلیم، مواد مادری و شیب امسا، از نظر طول زمان که مواد در معرض هوادیدگی و خاک‌سازی قرار دارند متفاوت می‌باشند. یک توالی زمانی را می‌توان در بین خاک‌هایی که در پادگانه‌های آبرفتی در زمان‌های مختلف در اثر کندن رودخانه در بستر خود ایجاد کرده‌اند مشاهده کرد. بالاترین پادگانه بیشترین زمان و پادگانه‌ها در سمت پایین کمترین زمان در معرض هوادیدگی و تشکیل خاک قرار گرفته‌اند. خاک‌های واقع در سیل‌دشت کنونی رودخانه جوان‌ترین بوده و هنوز در معرض افزایش مواد جدید می‌باشند.

تعامل با مواد مادری: مواد مادری در جا معمولاً مدت زمان طولانی‌تری در مقایسه با مواد مادری انتقال‌یافته در معرض خاک‌سازی قرار گرفته‌اند. برای نمونه خاک‌ها در ارتفاعات در قسمت جنوبی شرقی آمریکا مدت زمان طولانی‌تری در مقایسه با خاک‌های مجاور در مناطق پست که از مواد دریایی و آبرفتی تکامل‌یافته‌اند در معرض خاک‌سازی بوده است. خاک‌های تشکیل‌شده بر روی مواد یخرفتی در بخش‌های شمالی آمریکای شمالی، اروپا و آسیا در مقایسه با خاک‌های جنوبی‌تر که از تسلط یخچال‌ها نجات یافته‌اند معمولاً دارای زمان کمتری برای خاک‌سازی بوده‌اند. کانی‌شناسی و سایر خصوصیات خاک‌های جواتر در مناطق یخچالی معمولاً بسیار شبیه مواد مادری خود در مقایسه با خاک‌های پیرتر در مناطق غیر یخچالی می‌باشد. اما این مقایسه‌ها غامض می‌باشند، زیرا اقلیم، پوشش گیاهی و کانی‌شناسی مواد مادری معمولاً در بین خاک‌های یخچالی و غیر یخچالی متفاوت است.

مورد آخر مجدداً بر این تأکید دارد که ۵ عامل مؤثر در تشکیل خاک معمولاً همزمان و در تعامل با همدیگر عمل می‌کنند بنابراین پوشش گیاهی در رابطه با اقلیم تغییر کرده و مواد مادری ممکن است در ارتباط با موقعیت پستی و بلندی باشد که آن نیز ممکن است در پوشش گیاهی مؤثر باشد. ارتباط داخلی این عوامل مبارزه‌ای برای کسانی فراهم می‌کند که دوست دارند بدانند که در واقع چگونه یک خاک تشکیل‌شده است و برآورد کنند چه خصوصیتی از خاک را در یک محیط مشخص باید انتظار داشت.

با در نظر داشتن این مطالب در ذهن، توجه خود را بر فرایندهایی که سبب تغییر مواد مادری به خاک می‌شود معطوف می‌داریم. فرایندهایی که تحت تأثیر ۵ عامل مهم تشکیل خاک است که هم اکنون آن‌ها را تشریح کردیم.

۱۷-۲ خاک‌سازی در عمل

تراکم رگولیت بر اثر تخریب سنگ بستر و رسوبگذاری (آب، باد، یخ و ...) مواد ناپوسته زمین شناخت ممکن است مقدم و یا بسیار محتمل‌تر همزمان با تکامل افق‌های جداگانه خاک‌رخ انجام گیرد. در طول تشکیل خاک (تکوین خاک) از مواد مادری، رگولیت دچار تغییرات بسیار زیادی می‌شود.

چهار فرایند گسترده تکوین خاک

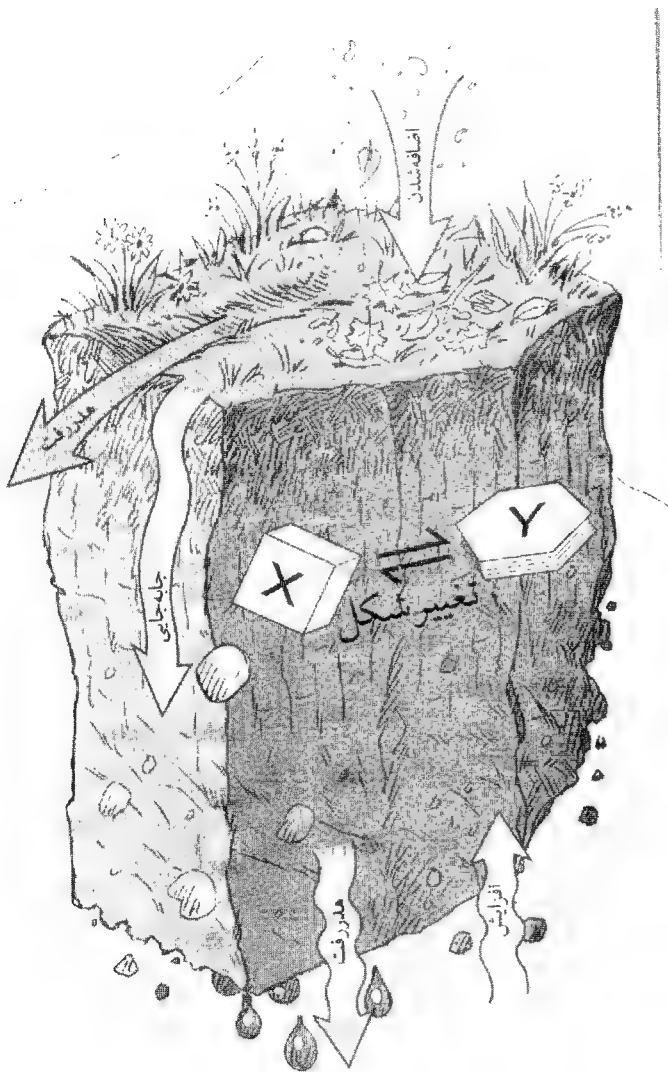
تکوین خاک به وسیله‌ی مجموعه‌ای از تغییرات خاص که می‌توانند در چهار فرایند گسترده گروه بندی شوند (شکل ۳۲-۲) انجام می‌پذیرد.

۱- تغییر شکل^۲ مانند هوادیدگی کانی‌ها و تخریب ماده‌ی آلی که در طی آن اجزاء تشکیل دهنده‌ی خاک تغییر یافته و یا از بین رفته و سایر

^۱ -Chronosequence

^۲ - Transformation

اجزای ساخته می‌شوند. ۲- جابه‌جایی^۱ و یا حرکت مواد آلی و معدنی از یک افق در بالا و پایین به افق دیگر است. مواد عمدتاً به وسیله‌ی آب تغییر مکان یافته اما جابه‌جایی به وسیله‌ی جانداران نیز انجام می‌گیرد. ۳- افزایش^۲ موادی به خاکرخ در حال تکامل از منابع خارج مانند ماده‌ی آلی از برگ‌ها، گردوغبار از نیوار و یا نمکهای محلول از آب زیرزمینی می‌باشد. ۴- هدررفت^۳ مواد از خاکرخ بر اثر آبشویی داخلی، فرسایش سطحی و یا سایر اشکال حذف و هدررفت مواد می‌باشد، تغییر شکل و جابه‌جایی اغلب سبب تراکم مواد در افق خاص می‌شود. این فرایندهای تکوین خاک، که تحت تأثیر عوامل محیطی که قبلاً تشریح شده‌اند عمل می‌کنند. چهارچوب منطقی برای فهم رابطه‌ی بین خاک‌های خاص و زمین‌نما و بوم‌زیستی که در آن ایفای نقش می‌کنند ارائه می‌کند. در تجزیه و تحلیل این روابط برای یک محل خاص از خود پرسید: چه موادی به این خاک اضافه می‌شود؟ چه نوع تغییر شکل و تغییر مکان در این خاکرخ صورت می‌گیرد؟ چه موادی از بین می‌روند؟ و اقلیم، موجودات، پستی و بلندی و مواد مادری در این محل که با گذشت زمان بر فرایندها مؤثر می‌باشند چگونه هستند.



شکل ۳۲-۲ نمایش تصویری افزایش، هدررفت، جابه‌جایی و تغییر شکل به عنوان فرایندهای اساسی پیش برنده‌ی تکامل خاکرخ

یک مثال ساده

تغییراتی را که ممکن است طی تکامل خاک از یک لایه ضعیف نسبتاً یکنواخت مواد مادری خاص لازم است صورت گیرد. مورد نظر قرار دهید. گرچه مقداری هوادیدگی فیزیکی و آبشویی برای رشد نبات در یک ماده‌ی مادری خاص لازم است انجام گیرد، تشکیل خاک در

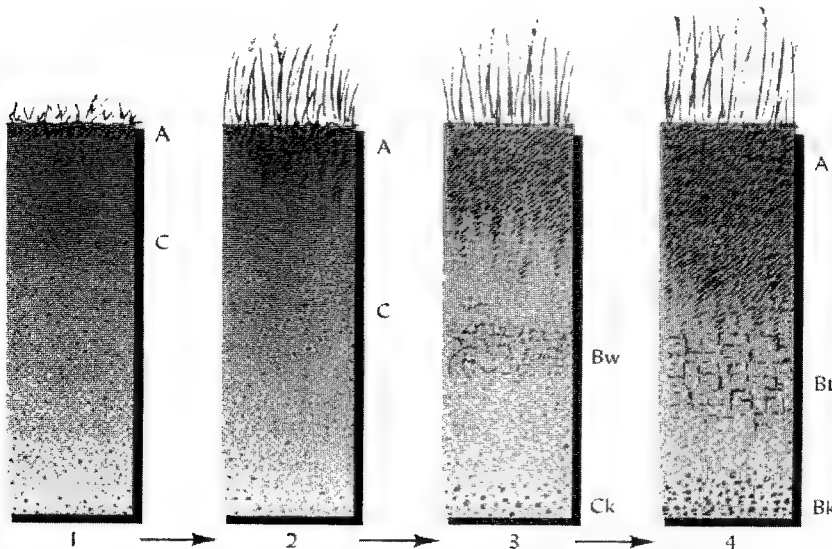
^۱ - Translocation

^۲ - Addition

^۳ - Loss

واقع زمانی شروع می‌شود که گیاهان استقرار یافته و شروع به باقی گذاشتن لاشبرگ و ریشه‌ی خود در رو و پا در داخل لایه‌های سطحی مواد مادری کنند. پس‌مانده‌های گیاهی به‌وسیله‌ی موجودات زنده‌ی خاک خرد شده و تا حدی تجزیه می‌شوند. این موجودات همچنین سبب ساخت هموس و سایر مواد آلی جدید می‌شوند. تراکم هموس سبب ارتقاء قابلیت استفاده آب و عناصر غذایی می‌شود و یک پس‌خور مثبت را برای تسریع رشد نبات و تجمع بیشتر هموس فراهم می‌سازد. کرم‌های خاکی، مورچه‌ها، موریانه‌ها و گروهی از حیوانات کوچک‌تر در داخل خاک بوجود آمده و از منابع جدید ماده‌ی آلی زندگی و تغذیه می‌کنند به این خاطر، آن‌ها در داخل خاک حفره ایجاد کرده و پس‌مانده‌های گیاهی را با مواد معدنی سست زیرین مخلوط می‌کنند.

تکامل افق A: حاصل مخلوط‌شدن ماده‌ی آلی - ماده‌ی معدنی در نزدیک سطح خاک است که نسبتاً سریع انجام می‌پذیرد، معمولاً تکامل اولین افق خاک، افق A می‌باشد. این افق دارای رنگ تیره بوده و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن از مواد مادری اصلی متفاوت می‌باشند. ذرات انفرادی خاک در این لایه تحت تأثیر مواد آلی به‌هم چسبیده و خاکدانه‌هایی ایجاد می‌کنند که این لایه را از افق‌های پایین‌تر و از مواد مادری اصلی (شکل ۲-۳۳ را مشاهده کنید) متمایز می‌کند. در اراضی شیب‌دار ممکن است فرسایش مقداری مواد از این لایه فوقانی تازه تشکیل‌شده را جدا کرده و تا حدی تکامل افق را کند کند.



شکل ۲-۳۳ تشریح مراحل تکامل یک خاک فرضی از مواد مادری تقریباً یکنواخت مانند پادنهشته (لس) در یک منطقه‌ی مرطوب معتدل. بخش ۱۸-۲۰ و جدول ۲-۴ را برای تشریح نماد افق‌ها ملاحظه کنید. در مرحله (۱) لایه‌بندی وجود ندارد. تراکم ماده‌ی آلی در نزدیک سطح خاک از پس‌مانده‌های گیاهی شروع شده است. در مرحله (۲) فعالیت کرم‌های خاکی و تجزیه‌ی ریشه‌ی گیاهان سبب مخلوط‌شدن مواد آلی با چند سانتی‌متر خاک بالایی شده است و یون‌های محلول (مانند Ca^{2+} و SO_4^{2-}) به‌طرف پایین حرکت کرده‌اند. رس‌ها از کانی‌های موجود در لس شروع به تشکیل کرده و در آب نافذ پراکنده شده‌اند. در مرحله (۳) ماده‌ی آلی بیشتری تراکم یافته و به طبقات عمیق‌تر خاک حرکت کرده است. آبخش‌ی بیشتر یون‌های محلول انجام گرفته و رس‌ها شروع به تغییر محل به افق‌های پایین کرده‌اند. یک افق Bw حال بعثت تغییر رنگ و تشکیل مقداری ساختمان مکعبی قابل تشخیص است، در عمق بیشتر خاک رس‌های شسته‌شده از لایه‌های بالایی رسوب یافته و یک افق Ck غنی از کربنات کلسیم ایجاد شده است. در مرحله (۴) مقادیر بیشتری از ماده آلی در طبقات پایین خاک رس یافت می‌شود. رس‌ها به میزان کافی برای تشکیل افق Bt تراکم یافته و سبب تقویت تشکیل ساختمان مکعبی شکل مشخص می‌شوند. فرایند خاک‌سازی سبب توسعه افق B تا بخش بالایی تراکم کربنات کلسیم شده و افق Bk را تشکیل می‌دهد.

آبخش‌ی: اسیدهای آلی که از تجزیه‌ی پس‌مانده‌های گیاهی تشکیل می‌شوند به‌وسیله‌ی آب نافذ به‌داخل خاک می‌رسد و در آنجا سبب تقویت واکنش‌های هوازدگی می‌شود. آب نافذ عمقی حاوی اسید سبب انحلال مواد مختلف شیمیایی و جابه‌جایی آن‌ها (آبخش‌ی) از افق‌های بالایی به پایین شده در آنجا ممکن است ته‌نشین شده و سبب ایجاد مناطق فقدان ویا تمرکز مواد گردند. مواد حل‌شده شامل یون‌ها با بار مثبت (کاتیون‌ها مانند Ca^{2+}) و یون‌ها با بار منفی (آنیون‌ها مانند CO_3^{2-} ، SO_4^{2-}) می‌باشند که از تخریب کانی‌ها و مواد آلی بدست می‌آیند. در

مناطق خشک و نیمه‌خشک رسوب این ن‌ها در حداکثر عمق نفوذ آب سبب ایجاد افق‌های غنی از کلیست ($CaCO_3$) و جیسم ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) می‌شود.

وقتی بارندگی به اندازه کافی زیاد باشد ممکن است بعضی از مواد محلول بر اثر زه‌کشی به‌طور کامل از خاک‌رخ حذف گردند، حذف مواد حاصل از هوازدگی سبب تقویت هوا دیدگی بیشتر می‌شود و خاک‌رخ به‌طور مرتب اسیدی و از Ca^{2+} و Mg^{2+} و K^+ تخلیه می‌شود. از طرف دیگر ریشه‌ی عمیق گیاهان در حال رشد ممکن است بعضی از این محصولات حاصل هوازدگی را جذب کرده و از طریق برگ و ریزش شاخ و برگ آن‌ها را مجدداً سطح زمین بازگرداند. بنابراین تا حدی سبب توقف فرایند هوازدگی اسیدی و تفکیک افق‌ها گردد. هوازدگی کانی‌ها : فرایندهای زیست‌شیمی سبب تسریع هوا دیدگی کانی‌های اولیه، تجزیه‌ی آن‌ها و تغییر بعضی برای تشکیل انواع مختلف رس‌های سلیکاتی می‌شود. با تجزیه کانی‌های اولیه محصولات حاصل از تجزیه در ترکیب مجدد کانی‌های جدیدی ایجاد می‌کنند که شامل انواع رس‌های سلیکاتی و هیدرواکسیدهای آهن و آلومینیوم می‌باشد (شکل ۴-۲).

این کانی‌های رسی جدیداً تشکیل شده ممکن است در جایی که تشکیل می‌شوند تراکم پیدا کنند و یا ممکن است به‌طرف پایین خاک‌رخ حرکت کرده و در لایه‌های عمیق‌تر متمرکز گردند. با برداشت مواد از یک لایه و تراکم در لایه دیگر، لایه‌های مجاور از یکدیگر متمایز گردیده و افق‌های خاک تشکیل می‌گردند. در مناطق تجمع رس معمولاً وقتی توده رس به‌طور متناوب خشک‌شده و ترک بر می‌دارد واحدهای مکعبی شکل و یا منشوری ساختمان خاک تشکیل می‌شوند (بخش ۷-۴ را مشاهده کنید). با تکامل خاک افق‌های مختلف در داخل خاک‌رخ معمولاً بیشتر شده و از افق‌های دیگر بیشتر متمایز می‌شوند.

تکوین خاک در طبیعت

تمام لایه‌های متمایز از مواد مختلف که در خاک‌رخ یافت می‌شوند افق‌های تکوینی^۱ نیستند که از فرایندهای تکامل خاک ایجاد شده باشند. مواد مادری که از آن‌ها بسیاری از خاک‌ها تکامل می‌یابند قبل از شروع تکوین خاک از لایه‌های مختلفی تشکیل شده‌اند. برای مثال یخ‌آبرفت‌ها و یخ‌رفت سطحی (موراین) ممکن است از لایه‌های مختلفی از ذرات ریز و درشت تشکیل شده که در اثر رخداد جداگانه‌ای ته‌نشین شده باشند. بنابراین در مشخص کردن خاک‌ها ما باید نه تنها افق‌های تکاملی و خصوصیتی را که در طول تکوین خاک بوجود می‌آیند مورد تشخیص قرار دهیم بلکه باید لایه‌ها و یا خصوصیتی که ممکن است از مواد مادری به ارث رسیده باشند باید مورد توجه قرار داده شوند. به‌علاوه ما باید طبیعت پویای خاک‌ها را که افق‌های توارثی آن‌ها در حال تکامل و تغییر مداوم می‌باشند درک کنیم و در نتیجه بدانیم که در بعضی خاک‌ها فرایند تفکیک افق‌ها تازه شروع شده، درحالی که در خاک‌های دیگر این فرایند کاملاً پیشرفت کرده است.

۱۸-۲ خاک‌رخ

در هر محل در روی اراضی سطح زمین ترکیب به‌خصوصی از تأثیرات ۵ عامل خاک‌سازی را تجربه کرده است که سبب ایجاد لایه‌های مختلفی (افق‌ها) در هر بخش از زمین‌نما گردیده، و به‌تدریج سبب ایجاد کالبدی طبیعی که خاک نام دارد، خواهد شد. یک خاک در رابطه با توالی این افق‌ها مشخص می‌شود. توالی این افق‌ها در یک نمای قائم خاک‌رخ نامیده می‌شود. حال توجه خود را به افق‌های عمده که نمای قائم خاک را تشکیل می‌دهند و واژه‌هایی که برای تشریح آن‌ها به‌کار می‌روند معطوف خواهیم کرد.

افق‌ها و لایه‌های عمده خاک

۵ افق اصلی در خاک مشخص شده‌اند این افق‌ها با استفاده از حروف بزرگ O و A و E و B و C (شکل ۳۴-۲) مشخص گردیده‌اند. افق‌های ثانوی و یا تفاوت در افق‌های اصلی با استفاده از حروف کوچک معلوم شده‌اند که به‌دنبال حروف بزرگ می‌آیند (مانند Ap، Bt و Oi).

افق‌های O : گروه افق O از افق‌های آلی که معمولاً در بالای خاک‌های معدنی قرار دارند تشکیل شده و یا در خاک‌رخ آلی قرار دارد. آن‌ها از بقایای حاصل از گیاهان و جانوران مرده حاصل می‌شوند. این افق معمولاً در مراتع شبه‌گندمیان یافت نمی‌شود. افق O معمولاً در اراضی جنگلی تشکیل گردیده و معمولاً به اسم افق کف جنگل مشهور می‌باشند. سه افق فرعی O قابل تشخیص می‌شوند که عبارتند از :

^۱ - Genetic horizon

Oi: افق آلی شامل مواد رشته‌ای (فیبری)^۱ حاصل از بقایای گیاهان و جانوران است. اندام‌های گی و جانوری (برگ‌ها، سر شاخه‌ها و سوزنها) قابل تشخیص است و مقدار اندکی تجزیه شده‌اند (افق Oi به عنوان لاشبرگ (۱) و یا L به وسیله‌ی بعضی از متخصصین جنگل عنوان می‌شود).

Oe: افق آلی شامل مواد همیک^۲، حاصل از بقایایی است که به‌طور متوسط تجزیه شده‌اند و در صورت مالش بین انگشتان دست هنوز بیشتر مواد فیبری در آن آشکار است. (این افق به‌عنوان افق تخمیر شده^۳ و یا F به وسیله‌ی بعضی از متخصصین جنگل نامیده می‌شود).

Oa: افق آلی شامل مواد ساپریست^۴ حاصل از بقایای مواد کاملاً تجزیه شده، صاف، بی‌شکل که فاقد رشته و یا بافت قابل تشخیص می‌باشد. (این افق معادل افق هموسی شده^۵ و یا افق H به وسیله‌ی بعضی از متخصصین جنگل نامیده می‌شود).

A: این افق فوقانی‌ترین افق معدنی می‌باشد که شامل مخلوطی از مواد آلی تقریباً تجزیه شده (هموسی شده) بوده که رنگ تیره‌تری از افق‌های تحتانی به خاک می‌دهد. افق A معمولاً دارای بافت درشت‌تر بوده و بعضی یا تمام مواد بافت ریز خود را یا به وسیله‌ی جابه‌جایی به افق‌های پایین و یا بر اثر فرسایش از دست داده است.

E: افقی که دارای حداکثر مقدار آبشویی و یا ایلویشن^۶ (ex) و یا e در لاتین به معنی خارج و lavere به معنی آبشویی) رس‌های سیلیکاتی و اکسیدهای آهن و آلومینیوم می‌باشد و ترکیبی از کانی‌های مقاوم مانند کوارتز در اندازه‌ی شن و لای را به‌جای می‌گذارد. افق E معمولاً از نظر رنگ روشن‌تر از افق A در روی آن و یا افق‌های دیگری که در زیر آن قرار دارند می‌باشد. افق E در خاک‌های تکامل یافته از جنگل کاملاً معمول بوده اما در خاک‌های تکامل یافته از مرتع شبه‌گندمیان به‌ندرت وجود دارد به تابلو ۱۰ و ۱۱ مراجعه کنید.

B: افق‌های B در زیر یک افق O، A، یا E تشکیل شده و در طول تکوین خاک دچار تغییرات زیادی شده است، به‌طوری‌که ساختمان ماده‌ی مادری اولیه دیگر قابل تشخیص نیست. در بسیاری از افق‌های B مواد عمدتاً بر اثر ایلویشن^۷ (از کلمه‌ی لاتین il به معنی داخل و lavere به معنی آبشویی) در طبقات بالا تمرکز یافته‌اند. در مناطق مرطوب افق B دارای لایه‌هایی با حداکثر تمرکز مواد مانند اکسیدهای آهن و آلومینیوم (افق‌های Bo و B_s)، و رس‌های سیلیکاتی (Bt) می‌باشند که بعضی از آن‌ها ممکن است از طبقات بالا آبشویی گشته و برخی در محل تشکیل شده باشند. این افق‌های B را می‌توان در عمق میانی خاکرخ که در تابلوهای ۱، ۱۰ و ۱۱ نشان داده شده است به‌خوبی مشاهده کرد. در مناطق خشک و نیمه‌خشک کربنات کلسیم و یا سولفات کلسیم ممکن است در افق B تمرکز یابند (به ترتیب ایجاد افق‌های Bk* و By* کنند).

به افق‌های B در بعضی مواقع به غلط خاک تحت‌الارضی اطلاق می‌شود، واژه‌ای که از دقت لازم برخوردار نیست. در خاک‌ها با افق کم عمق A بخشی از افق B ممکن است با لایه شخم مخلوط شده و بدین ترتیب بخشی از خاک سطحی را تشکیل دهد. در دیگر خاک‌ها با افق عمیق A، لایه شخم و یا خاک سطحی ممکن است فقط بخش فوقانی افق A را شامل بوده و خاک تحت‌الارضی بخش پایین افق A را به‌انضمام افق B شامل گردد این امر ضرورت قایل شدن تفاوت را بین واژه‌های محاوره‌ای (خاک رویی و خاک زیری) و واژگان فنی که به وسیله‌ی خاک‌شناسان به کار می‌روند مورد تأکید قرار می‌دهد.

C: عبارتست از مواد غیرمترکم در زیر خاک فعال (سولوم^۸)، (افق‌های A و B) که ممکن است شامل همان ماده‌ی مادری باشد که از آن سولوم تشکیل گردیده و یا مشابه آن نباشد. افق C در خارج منطقه حداکثر فعالیت زیستی بوده و به‌مقدار کافی در تکوین خاک تغییر نیافته است تا دارای مشخصات افق B باشد درحالی‌که مواد افق C باید چنان سست باشد که یک پیل حفاری گردد، اغلب بعضی از خصوصیات سنگ مادر و یا تشکیلاتی را که از آن تکامل یافته‌اند دارا می‌باشد. لایه‌های فوقانی آن ممکن است در طی زمان با پیشرفت فرسایش و حوادثی بخشی از خاک فعال را تشکیل دهد.

1 - Fibric material

2 - Hemic

3 - Fermentation

4 - Saprist

5 - Humidified

6 - Eluvation

7 - Illuviation

8 - Solum

* - در برخی از خاکهای مناطق خشک و نیمه‌خشک این ترکیبات ممکن است در افق C تجمع کنند

لایه‌های R: عبارتند از سنگ‌های متراکم زیرین با کمترین شواهد هواپدگی

افق‌های فرعی در داخل افق‌های اصلی

اغلب لایه‌های مجزا در داخل یک افق اصلی وجود دارد که با شماره‌ای به دنبال حرف مشخص کننده افق اصلی می‌آید برای نمونه اگر سه ترکیب مختلف از ساختمان و رنگ در افق B مشاهده گردد آنوقت خاکرخ ممکن است شامل توالی B_1, B_2, B_3 باشد. اگر در مواد مادری مختلف زمین‌شناسی (بادنهشته و یخرفت‌ها) در داخل خاکرخ موجود باشند شماره ۲ در مقابل علامت افق اصلی که مواد مادری از آن تکامل یافته‌اند به کار می‌رود. برای نمونه افقی که دارای توالی O-A-B-2C باشد، افق C از یخرفت‌ها تکامل یافته در صورتی که افق‌های بالایی از بادنهشته تکامل یافته است.

افق‌های انتقالی

این افق‌ها در بین افق‌های اصلی (O, A, E, B, C) حالت بینابین دارند. در آن‌ها ممکن است خصوصیت یک افق غالب بوده اما دارای خصوصیت برجسته‌تری از دیگر افق‌ها باشد. دو کلمه بزرگ لاتین برای مشخص کردن افق‌های انتقالی (مانند BC, BE, EB, AE) به کار می‌روند. افق غالب قبل از افق فرعی نوشته می‌شود. ترکیب حروف مانند E/B برای مشخص کردن افق‌های انتقالی که بخش خاصی از افق دارای خصوصیت E و دیگر بخش‌ها دارای خصوصیت B می‌باشند به کار می‌رود.



شکل ۳-۲ خاکرخ فرضی یک خاک معدنی، بیانگر افق‌های عمده که ممکن است در یک خاک با زه‌کشی خوب در منطقه‌ی معتدل مرطوب وجود داشته باشد. ممکن است هر خاکرخ خاص بعضی از افق‌ها را به نمایش بگذارد، گرچه عمق نسبی آن‌ها متغیر است. به علاوه ممکن است خاکرخ افق‌های فرعی بیشتری را از آنچه در اینجا مشخص شده است به نمایش بگذارد. خاک فعال شامل A و E و افق B به انضمام بعضی از لایه‌های سیمانی شده C نیز می‌باشد.

مشخص کردن افق‌های ثانوی

از آنجا که حرف بزرگ سرشت افق اصلی را به طور کلی مشخص می‌سازد، ویژگی‌های خاص افق ممکن است با حرف کوچک که به دنبال حروف بزرگ می‌آیند، تعیین گردد. برای نمونه، سه نوع افق O (O_a, O_e, O_i) در خاک‌هایی که در شکل ۳-۲ نشان داده شده، مشخص گردیده است، بیانگر توالی افق‌های مربوطه است. دیگر شامل خصوصیات فیزیکی خاص و تجمع مواد خاص مانند رس و نمک‌ها می‌باشد. سیاه‌ای از حروف تشخیصی تمایزات فرعی افق‌ها و معانی آن‌ها در جدول ۴-۲ داده شده است. پیشنهاد می‌کنیم که این جدول را برای مراجعه‌های آتی مشخص کنید و حال آن‌را برای آگاه شدن از خصوصیات متمایز خاک که با تعیین تمایز آنها مشخص می‌شود، مطالعه کنید. به عنوان مثال، افق Bt یک افق B است که با تمرکز رس مشخص شده است (t از کلمه آلمانی ton به معنی رس است). همین‌طور، در

یک افق Bk، کربنات‌ها (k) تجمع یافته‌است. هم‌اکنون پسوندهای I و a و e را برای تشخیص انواع افق‌های O به کار بردیم. اهمیت دیگر حروف تعیین تمایزات فرعی افق‌ها در فصل آینده مورد بحث قرار خواهد گرفت.

نسبت این مشخصه‌های فرعی و معنی آن‌ها در جدول ۴-۲ آمده است. مثلاً یک افق Bt با تجمع رس (t) می‌باشد به‌همین ترتیب در یک افق Bk کربنات‌ها (k) تجمع یافته است. اهمیت افق‌های ثانویه در فصل بعد مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

افق‌های موجود در یک خاکرخ

احتمال آن‌که خاکرخ در هر خاک شامل تمام افق‌هایی باشد که در جدول ۴-۳ آمده است ضعیف است. افق‌هایی که معمولاً در خاک‌ها دارای زه‌کشی خوب یافت می‌شوند عبارتند از Oe, Oi (و یا Oa) در صورت جنگلی بودن اراضی؛ A یا E (و یا هر دو بسته به شرایط)؛ Bw, Bt و C. شرایط تکوین خاک مشخص می‌کند کدام یک از افق‌های دیگر موجود بوده و تعریف روشنی از آن‌ها بدست می‌دهد. وقتی در یک خاک پکر شخم و کشت‌وکار انجام می‌گیرد لایه رویی ۲۰-۱۵ سانتی‌متر به افق شخم خورده (Ap) تبدیل می‌شود. شخم و شیار شرایط لایه‌بندی اولیه این لایه رویی را تخریب کرده و افق شخم خورده کم و بیش همسان می‌شود. مثالی از یک افق Ap را می‌توان در ۲۰ سانتی‌متری بالایی یک خاک که در تابلو یک نشان داده‌شده است مشاهده کرد. در بعضی از خاک‌ها افق‌های A و E از افق شخم عمیق‌تر می‌باشد (شکل ۳۵-۲).

جدول ۴-۳ علائم حروف کوچک برای مشخص کردن افق‌های ثانوی در افق اصلی

حروف	مشخصه	حروف	مشخصه	حروف	مشخصه
a	ماده‌ی آلی به شدت تجزیه شده	j	کانی جاروسیت	s	تراکم ماده‌ی آلی و اکسیدهای Fe, Al
b	افق مدفون شده	jj	گردش یخ (کری توریش) ^۱	ss	براق بودن سطوح (اسیلیکن ساید) ^۲
c	سخت دانه ^۳ - گره ^۴	k	تراکم کربنات‌ها	t	تراکم رس‌های سیلیکاتی
d	مواد متراکم استحکام نیافته	m	سیمانی شدن و یا سخت شدن	v	پلنتایت (مواد قرمز آهن دار) ^۵
e	ماده‌ی آلی با درجه متوسط تجزیه	n	تراکم سدیم	w	رنگ و یا ساختمان در افق B
f	خاک یخ زده	o	تراکم اکسیدهای Fe و Al	x	فراچی پن (وزن مخصوص زیاد و شکسته) ^۶
g	رنگ‌های احیایی شدید (رنگدانه) ^۷	p	شخم و دیگر عملیات بهم زدن خاک	y	تراکم گچ
h	تراکم مواد آلی حاصل از آبشویی	q	تراکم سیلیس	z	تراکم نمک‌های محلول
i	ماده‌ی آلی با حداقل تجزیه	r	سنگ مادر هوادیده		

در سایر موارد که لایه‌های فوقانی خیلی نازک می‌باشند خط شخم درست در بالا و حتی در افق B قرار خواهد گرفت. در بعضی از اراضی زراعی فرسایش شدید سبب ایجاد خاکرخ تراشیده شده^۸ (کم عمق) می‌باشد. با فرسایش خاک سطحی خط شخم به تدریج برای ایجاد لایه شخم به پایین انتقال می‌یابد. در بسیاری از موارد لایه شخم تقریباً به‌طور کامل در داخل افق B قرار گرفته و در نتیجه افق C در نزدیکی سطح قرار گرفته است. مقایسه با یک منطقه غیرفرسایشی مجاور نشان می‌دهد که چه میزان فرسایش انجام گرفته است. چهره بفرنج دیگر حضور یک افق مدفون شده ناشی از عمل انسان و یا شرایط طبیعی می‌باشد. در مطالعه و تشریح خاکرخ این موقعیت نیازمند بررسیهای دقیقتر است.

¹ - Cryoturbation

² - Slickensides

³ - Concretions

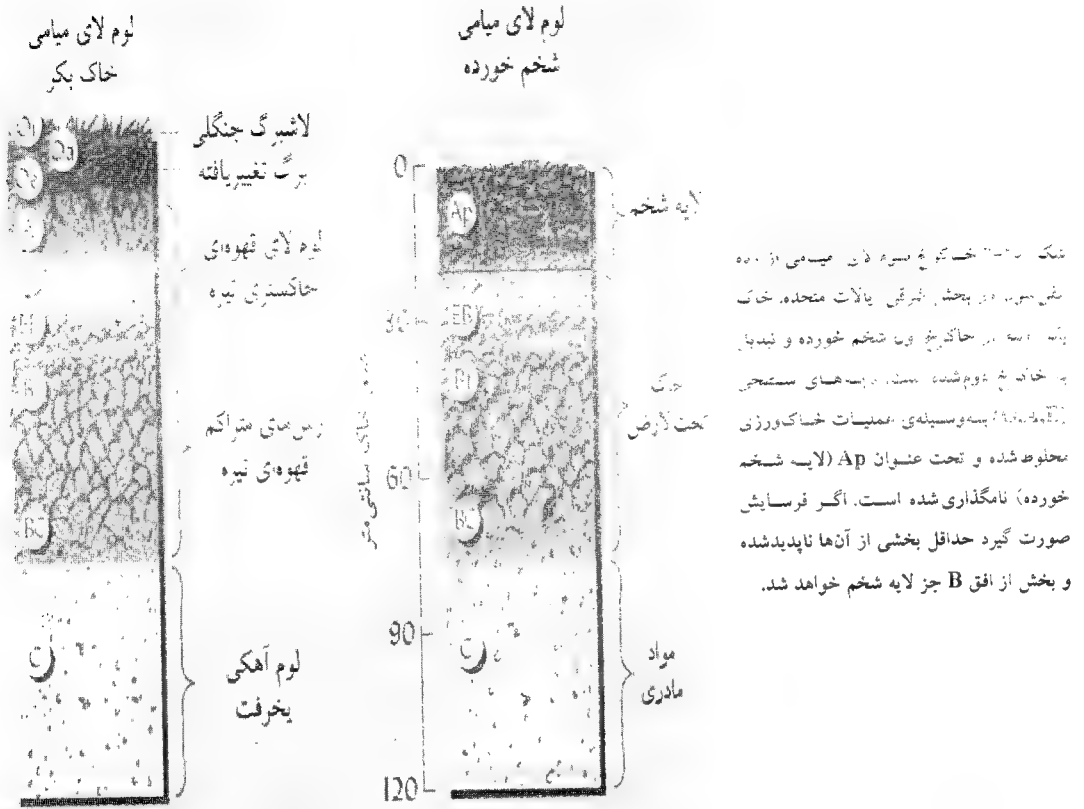
⁴ - Odale

⁵ - Plinthite

⁶ - Fragipar

⁷ - Mottling

⁸ - Truncated profile



۱۸-۲ نتیجه گیری

ماده‌ی مادری که خاک از آن تکامل می‌یابد در جهان بسیار متغیر بوده و از یک محل با محل دیگر به‌فاصله‌ی چند متر متفاوت می‌باشد. شناخت این مواد، منشاء و یا منبع آن‌ها، سازوکار هوادیدگی آن‌ها و نوع انتقال و ته‌نشینی آن‌ها اگر بخواهیم به کسب دانش خاک دست یابیم و به‌خصوص اگر بخواهیم خاک‌ها را به‌طور مناسب طبقه‌بندی کنیم اساسی می‌باشد.

تشکیل خاک به وسیله ی اقلیم و موجودات زنده بر روی مواد مادری در طی زمان و تحت تأثیر پستی و بلندی صورت می پذیرد. این ۵ عامل، تشکیل انواع خاک های تکامل یافته را مشخص می کند. وقتی تمام این عوامل در دو منطقه یکسان باشند نوع خاک در هر دو محل بایستی یکسان باشد.

هنگامی لایه‌ها و یا افق‌های غایب در ماده‌ی مادری شروع به ظاهر شدن در خاک‌رخ می‌کنند مراحل تکوین خاک آغاز می‌شود. تراکم ماده‌ی آلی در افق‌های فوقانی، حرکت رو به پایین یونهای محلول، حرکت و بازسازی مجدد رس و توسعه تجمع ذرات خاک (ساختمان خاک) در افق‌های بالایی و زیرین نشانه‌ی شروع شدن فرایند خاک‌سازی می‌باشد.

چهار فرایند عمومی تشکیل خاک (افزایش، کاهش، تغییر محل و تغییر مکان) و ۵ عامل مؤثر در خاک‌سازی چهار چوب منطقی باارزشی را در انتخاب محل و تخمین سرشت خاک‌هایی که امکان دارد در یک محل خاص یافت شوند ارائه می‌دهد. بالعکس تجزیه و تحلیل خصوصیات یک خاک‌رخ مطالب بسیاری را درباره‌ی شرایط اقلیمی، زیستی و زمین‌شناسی (گذشته و حال) محل به ما ارائه می‌دهد. مشخص کردن افق‌ها در یک خاک‌رخ متجر به درک خاک انفرادی می‌باشد که مربوط به موضوع طبقه‌بندی بوده که عنوان فصل آتی است.

¹ - Silty loam

سوالات برای مطالعه

- ۱- جمله‌ی « هوادیدگی فرایندهای تخریب و بازسازی را با همدیگر ترکیب می‌کند » چه معنی می‌دهد مثالی از این دو فرایند در هوادیدگی کانی‌های اولیه ارایه دهید.
- ۲- آب چگونه در واکنش‌های هوادیدگی شیمیایی دخیل است؟
- ۳- اهمیت نسبت Si/Al را در کانی‌های خاک بیان کنید.
- ۴- مثالی ارایه دهید که چگونه مواد مادری از یکطرف در طول مناطق جغرافیایی گسترده تغییر کرده اما از طرف دیگر در یک قطعه زمین کوچک نیز تغییر می‌نماید.
- ۵- ریش عمیق موثر در خاک‌سازی را نام ببرید، با توجه به هر کدام از این عوامل خاک‌سازی یک جنگل را در اراضی مسیبه در ترکیب با شل‌های سرتخی نیمه آندینیان بسیار پایین‌تر مقایسه کنید.
- ۶- چگونه می‌توانست، سینه‌های پهن‌جانبی را، اثرات از نظر ظاهر و عامل انتقال با هم متفاوت می‌پنداشت؟
- ۷- پادمشته‌دگر چیست و بعضی از خصوصیات آن به عنوان مادری چه می‌باشد؟
- ۸- دو مثال خاص برای هر کدام از فرایندهای گسترده خاک‌سازی ارایه دهید.
- ۹- یک منطقه مسطح را با سنگ گرانیتی فرض کنید که در دو مورد سنگ مادر بوده است، در واژه‌های کلی تشریح کنید که چگونه انتظار دارید دو خاکرخ که یکی در منطقه گرم نیمه مرطوب چمن‌زار و دیگری در منطقه مرطوب خنک جنگلی زیر کاج باشد با هم فرق می‌کنند.
- ۱۰- برای دو خاکی که در سؤال ۵ طرح‌شده است یک شکل خاکرخی درست کنید و از علایم افق‌های اصلی و پسوند‌های ثانویه برای نشان‌دادن توالی عمق نسبی و طبیعت افق‌های که شما انتظار دارید در هر خاک پیدا کنید استفاده کنید.

شرم آور است که قادر نیستیم بر روی این که خاک چیست توافق کنیم. در این مورد خاک‌شناسان تنها نیستند. زیست‌شناسان در تعریف حیات و فیلسوفان در تعریف فلسفه نیز چنین می‌باشند.

هانز یثی، در کتاب منابع خاک:

اصل رفتار

فصل سوم

طبقه‌بندی خاک

مردم اشیاء را به منظور درک دنیای آن‌ها طبقه‌بندی می‌کنند، ما این کار را در تمام ایام انجام می‌دهیم. وقتی اشیاء را با نام‌های گروهی مخاطب قرار می‌دهیم به آن‌ها برچسب‌های می‌دهیم که ما را از خصوصیات مهم آن‌ها آگاه می‌سازند. جهانی بدون طبقه‌بندی را مجسم کنید. تصور کنید که در جنگلی مطالعه می‌کنید و فقط می‌دانید که هر نبات فقط یک نبات است. نمی‌دانند کدام برای انسان خوردنی است، کدام برای حیات وحش جذاب است، لمس کدام یک سمی می‌باشد. تصور کنید که در یک شهر زنده مانده‌اید و می‌دانید که هر نفر فقط یک فرد است و نمی‌دانید که به کدام گروه، بچه‌ها، بالغین، نرها، ماده‌ها، افسران پلیس، مجرمان، دوستان، معلمان و یا سایر دسته‌های که مردم را طبقه‌بندی می‌کنند تعلق دارد. بنابراین درک ما و مدیریت خاک‌ها و نظام‌های زمینی اگر بدانیم که خاک فقط یک خاک است لنگ خواهد بود. چگونه می‌توانیم اطلاعات خود را در مورد خاک‌ها تنظیم کنیم؟ از تجارب دیگران چگونه می‌توانیم بیاموزیم و یا دانش خود را چگونه با نزدیکان، همکاران و یا دست‌اندرکاران مبادله خواهیم کرد.

در طول تاریخ انسان‌ها نظام‌های مختلفی برای نام‌گذاری و طبقه‌بندی خاک‌ها به کار برده‌اند. از زمانی که محصولات برای اولین بار کشت شدند انسان‌ها به اختلافات موجود در خاک‌ها آگاه شده. آن‌ها را بر حسب تناسب برای استفاده‌های مختلف طبقه‌بندی کرده و به آن‌ها نام‌های توصیفی مانند خاک‌های سیاه مناسب پنبه^۱، خاک‌های شالیزار^۲، خاک‌های کشت زیتون^۳ اطلاق کردند. سایر اسامی خاک‌ها که هنوز امروزه مورد استفاده می‌باشند، مضامین زمین‌شناسی و مواد مادری را که خاک از آن تشکیل شده است مطرح می‌سازند. خاک‌های آهکی، خاک‌های دشت دامنه‌ای و خاک‌های رسوبی از آن جمله‌اند. این واژه‌ها ضمن این که ممکن است معانی چندی برای بهره‌برداران محلی داشته باشند، کمک اندکی در سامان‌دادن دانش خود از خاک‌ها و یا مشاهده همبستگی بین خاک‌ها در جهان به ما ارایه می‌کنند.

در این فصل یاد خواهیم گرفت که خاک به‌عنوان اجسام طبیعی بر اساس خصوصیات خاک‌رخ، نه بر اساس تناسب آن‌ها برای کاربری خاص چگونه طبقه‌بندی خواهند شد، چنین طبقه‌بندی برای تقویت ارتباطات جهانی در مورد خاک‌ها در بین دانشمندان خاک و تمام مردمی که در ارتباط با مدیریت اراضی و حفاظت منابع خاکی می‌باشند اساسی است. از طریق نظام طبقه‌بندی می‌توانیم در تحقیقات و تجارب موجود در یک محل برای پیش‌بینی رفتار خاک‌های طبقه‌بندی شده مشابه استفاده کنیم. اسامی خاک‌ها مانند مولی‌سول یا اکسی‌سول تصاویر ذهنی مشابهی را در دانشمندان خاک در هر کجای دنیا که زندگی می‌کنند چه آمریکا، اروپا، ژاپن و یا کشورهای در حال توسعه ایجاد خواهد کرد. از طریق نظام طبقه‌بندی می‌توانیم یک زبان جهانی از خاک‌ها ایجاد کنیم که سبب ارتقاء ارتباط در بین بهره‌برداران از خاک در تمام دنیا خواهد شد.

۳-۱ مفهوم خاک انفرادی^۴

وقتی در دهه‌ی ۱۸۸۰ دانشمند خاک‌شناس روسی دوکوچایف و همکارانش این اندیشه را عنوان کردند که خاک‌ها اجسام طبیعی می‌باشند دریچه‌ای کاملاً نو برای مطالعه‌ی خاک‌ها در جهان گشودند. متأسفانه ارتباطات ضعیف بین‌المللی، و اکراه بعضی از دانشمندان برای قبول این عقیده جسورانه پذیرش خاک به‌عنوان یک جسم طبیعی را به‌وسیله‌ی دانشمندان اروپا و آمریکا به تأخیر انداخت. بعضی از

^۱ - Black cotton soils

^۲ - Rice soil

^۳ - Olive soil

^۴ Individual soil

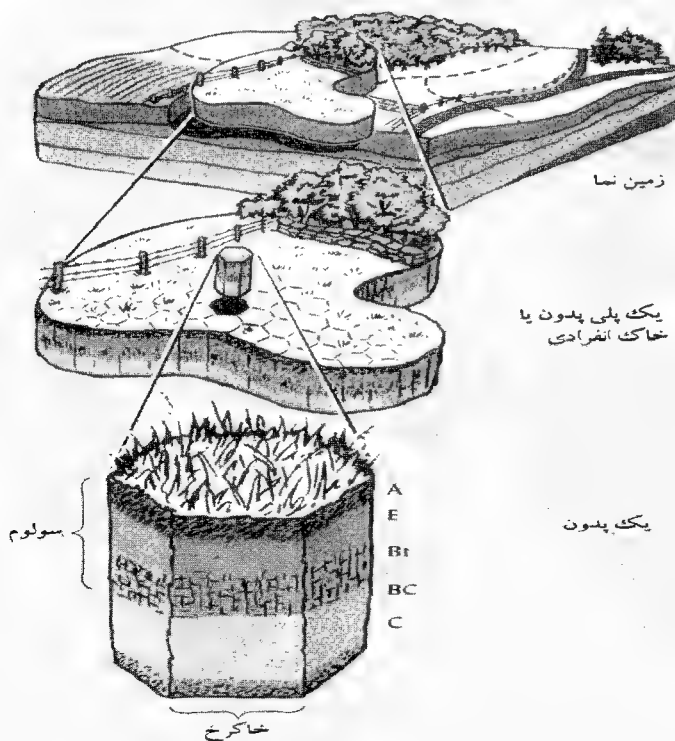
دانشمندان درگیر مطالعات صحرایی خاک، نظرات دانشمندان روسی را در خور توجه دانستند اما تا آخر دهه ۱۹۲۰ این نظرات به‌طور جدی مورد ملاحظه قرار نگرفت. س - ف ماریوت از وزارت کشاورزی آمریکا یکی از چند دانشمندی بود که مفهوم خاک به‌عنوان یک جسم طبیعی را درک کرد و یک طرح طبقه‌بندی خاک را بر اساس این اصول ارائه نمود.

مفهوم خاک به‌عنوان یک جسم طبیعی با فرض وجود اجسام طبیعی انفرادی است که به هر کدام یک خاک اطلاق می‌کنیم. همان‌طور که احاد انسان‌ها با همدیگر متفاوتند. احاد خاک‌ها نیز دارای خصوصیات می‌باشند که آن‌ها را از یکدیگر مشخص می‌کند. به‌همین نحو درست مانند احاد انسان‌ها که ممکن است بر اساس ویژگی‌هایی مانند قد، وزن، گروه‌بندی شوند، احاد خاک‌ها نیز ممکن است بر اساس یک، یا چند خصوصیت مشترک در گروه‌هایی قرار گیرند. به‌همین روال، گروه‌های بزرگ خاک هر یک با خصوصیات مشابه که آن‌ها را از دیگران متمایز می‌کند می‌تواند در دسته‌های بالاتر قرار گیرند بدین ترتیب با بالارفتن از نردبان طبقه‌بندی تا رسیدن به خاک، گروه‌های بزرگ می‌توان خاک را تعریف نمود.

پدون^۱ و پلی‌پدون^۲

مرزبندی بارزی بین خصوصیات یک خاک انفرادی با خاک مجاور دیگر وجود ندارد. در عوض یک تغییر تدریجی در این خصوصیات از یک خاک به خاک دیگر وجود دارد.

تغییر تدریجی در خصوصیات خاک می‌تواند با تغییرات تدریجی در طول موج نور هنگامی که در رنگین کمان از یک رنگ به رنگ دیگر تبدیل می‌شود مقایسه گردد. گرچه تغییر تدریجی است اما می‌توانیم یک مرز مشخص را بین آن‌چیزی که سبز و آن‌چیزی که آبی می‌نامیم قایل شویم خاک‌ها در صحرا ناهمگون می‌باشند و خصوصیات خاک‌رخ در دو نقطه در داخل یک خاک انفرادی که برای مطالعه انتخاب می‌کنند دقیقاً همانند نیستند، بنابراین لازم است که یک خاک انفرادی را به‌عنوان یک واحد سه بعدی فرضی مشخص کنیم. این واحد سه بعدی پدون نامیده می‌شود (کلمه‌ی پدون در یونانی به‌معنی زمین است شکل ۱-۳). پدون کوچک‌ترین واحد نمونه‌گیری است که می‌تواند تمام خصوصیات یک خاک انفرادی را مشخص کند.



شکل ۳-۱ نمودار تصویری برای تشریح مفهوم پدون و خاک‌رخ برای تشخیص آن. توجه داشته باشید چند پدون مجاور با خصوصیات مشابه که در یک منطقه بزرگ‌تر قرار گرفته‌اند (به‌وسیله‌ی خطوط بریده مشخص شده‌اند) پلی‌پدون، و یا یک خاک انفرادی نامیده می‌شوند. چندین خاک انفرادی در این زمین نما وجود دارند.

^۱ - Pedon

^۲ - Poly pedon

پدون‌ها سطحی از یک تا ده متر مربع را شامل می‌شوند. از آنجاکه پدون‌ها همان چیزی هستند که در هنگام بررسی‌های صحرایی خاک‌ها مورد آزمایش قرار می‌گیرند به‌عنوان واحد اساسی طبقه‌بندی خاک عمل می‌کنند. هرچند واحد خاک در زمین‌نما معمولاً شامل گروهی از پدون‌های مشابهند که در ارتباط نزدیک می‌باشند. این گروه از پدون‌های مشابه یا پلی‌پدون دارای گستره‌ی چنان وسیعی هستند که می‌توانند به‌عنوان جزئی از زمین‌نما به‌نام خاک انفرادی مشخص گردند.

تمام خاک‌های انفرادی جهان که دارای مجموعه‌ای از خصوصیات خاکرخ و افق‌هایی هستند که در یک دامنه‌ی به‌خصوص قرار می‌گیرند به یک سری خاک تعلق دارند، بنابراین سری خاک مجموعه‌ای از خاک‌ها است نه یک خاک انفرادی بدین ترتیب به‌همان‌منوال که *Pinus sylvestris* یک گونه درختی است نه یک درخت مجزا. حدود ۱۹۰۰۰ سری خاک در آمریکا مشخص شده است که واحدهای اصلی مورد استفاده برای خاک‌ها در مقیاس ملی است. همان‌طور که در بخش ۷-۱۹ خواهیم دید واحدهای جدا شده بر روی نقشه‌های خاک‌شناسی تفصیلی به‌طور خالص از یک خاک تشکیل نشده‌اند اما نام‌گذاری آن‌ها عمدتاً مربوط به سری‌هایی است که اکثر پدون‌های داخل واحد به آن‌ها تعلق دارد.

گروه‌بندی خاک‌های انفرادی

حال به دو محدوده خاص و بسیار گسترده مفهوم خاک دسترسی یافتیم. در یک محدوده، خاک به‌عنوان یک جسم سه بعدی است که با یک واحد نمونه‌برداری سه‌بعدی (پدون) مشخص شده‌است و گروه‌های وابسته به آن (پلی‌پدون) از اجزاء یک سری خاک می‌باشند، در محدوده‌ی گسترده دیگر خاک مجموعه‌ای از اجسام طبیعی است که از آب، سنگ متراکم و سایر بخش‌های طبیعی پوسته‌ی زمین متمایز می‌باشد برنامه‌های طبقه‌بندی تسلسلی معمولاً خاک‌ها را در کلاس‌هایی که به‌تدریج افراد بیشتری را در بین این دو محدوده در بر می‌گیرد گروه‌بندی می‌کند.

تعدادی از نظام‌های طبقه‌بندی در قسمت‌های مختلف جهان وجود دارند.^۱ یک نظام اصلاح شده روسی با تأکید بیشتر بر روی عوامل تشکیل دهنده‌ی خاک نه تنها در کشورهای سابق اتحاد جماهیر شوروی بلکه در بعضی از کشورهای اروپایی دیگر نیز مورد استفاده می‌باشد. نظام طبقه‌بندی همچنین در فرانسه و سایر مستعمره‌نشین‌های سابق آن، بلژیک، انگلستان، استرالیا، کانادا، آفریقای جنوبی و برزیل تکامل یافته و مورد استفاده می‌باشد. دو سازمان خواروبار جهانی (فایو) و سازمان علمی، فرهنگی آموزشی سازمان ملل متحد (یونسکو) نقشه‌ی منابع خاک‌های جهان را ارایه نموده‌اند که در آن یک نظام طبقه‌بندی برای فهرست برداری و تشریح منابع خاک جهان مورد استفاده قرار گرفته است.

در ایالات متحده نظام طبقه‌بندی ۱۹۲۷ ماربوت در سال‌های ۱۹۳۵، ۱۹۳۸ و ۱۹۴۹ مورد تجدیدنظر قرار گرفته است و آخرین تجدیدنظر به‌طور گسترده در طول ۲۵ سال مورد استفاده بوده است. در سال ۱۹۵۱ گروه مطالعات خاک‌شناسی وزارت کشاورزی آمریکا یک تلاش مشترک را با دانشمندان خاک در ایالات متحده و سایر کشورهای جهان برای ابداع یک نظام جامع طبقه‌بندی جدید آغاز کرد. این نظام با تغییراتی در سال ۱۹۶۵ تا حال مورد استفاده می‌باشد و حداقل تا حدی به‌وسیله‌ی دانشمندان در ۵۵ کشور دیگر مورد استفاده قرار گرفته است. این نظام در کتاب حاضر مورد استفاده می‌باشد.

۲-۳ نظام طبقه‌بندی جامع خاک^۲ : رده‌بندی خاک

همانند سایر نظام‌های پیشین، نظام جامع طبقه‌بندی که نظام رده‌بندی خاک نامیده می‌شود یک نوع گروه‌بندی تسلسلی را از پیکره‌ی طبیعی خاک ارایه می‌دهد. دو چهره‌ی اصلی رده‌بندی را منحصربه‌فرد می‌سازند. اول این که نظام براساس خصوصیات از خاک که می‌تواند با دقت اندازه‌گیری و یا مشاهده شوند بنا شده است. این امر جر و بحث احتمالی را درمورد طبقه‌بندی یک خاک وقتی دانشمندان متکی به نظام‌هایی هستند که با سازوکار پیش‌فرض تشکیل خاک سروکار دارد، کاهش می‌دهد. دومین چهره‌ی شاخص طبقه‌بندی خاک اسم‌گذاری

^۱ - در پیوست ب طبقه بندی کانادا و قانون آمده است.

^۲ - Comprehensive classification system: soil taxonomy

^۳ - رده‌بندی، دانش اصول طبقه‌بندی می‌باشد. برای مروری بر دست‌اوردها و چالش‌های رده‌بندی به نشریه علمی SSSA (۱۹۸۴) مراجعه کنید. برای تشریح کامل رده‌بندی خاک، گروه مطالعات خاک‌شناسی (۱۹۹۹) را مشاهده کنید. اولین چاپ کتاب رده‌بندی خاک تحت عنوان گروه مطالعات خاک‌شناسی (۱۹۷۵) انتشار یافت.

می‌باشد که دلالت ضمنی بر خصوصیات خاک موردنظر دارد. این نظام گرچه بر هیچ زبان بین‌المللی متکی نیست به‌راستی بین‌المللی است. اسم‌گذاری مورد استفاده بعد از مراجعه کوتاه به معیارهای اصلی نظام یعنی خصوصیات خاک، مورد ملاحظه قرار خواهد گرفت.

مبانی طبقه‌بندی خاک

رده‌بندی خاک بر اساس خصوصیات خاک‌ها در حال حاضر می‌باشد. این به آن معنی نیست که فرایند تکوین خاک فراموش شده است در واقع یکی از اهداف نظام، گروه‌بندی خاک‌های مشابه از نظر توارثی می‌باشد گرچه معیار خاص به‌کارگرفته برای قرار دادن خاک‌ها در این گروه‌ها همان خصوصیات قابل مشاهده‌ی خاک است.

اکثر خصوصیات شیمیایی، فیزیکی و زیستی در این کتاب به‌عنوان استاندارد برای رده‌بندی خاک به‌کار رفته است، نمونه‌هایی چند عبارت از رطوبت، دما، رنگ، بافت و ساختمان خاک می‌باشد. خصوصیات شیمیایی و کانی‌شناسی مانند میزان ماده‌ی آلی، اکسیدهای آهن و آلومینیوم، رس سیلیکاتی، نمک‌ها، pH، درصد اشباع بازی و عمق خاک، دیگر استانداردهای مهم برای طبقه‌بندی می‌باشند.

درحالی‌که بسیاری از خصوصیات مورد استفاده ممکن است در صحرا مشاهده شوند. سایر خصوصیات نیازمند اندازه‌گیری‌های دقیق بر روی نمونه‌هایی است که به آزمایشگاه‌های مجهز ارسال شده‌اند. این دقت سبب واقعی بودن بیشتر نظام طبقه‌بندی می‌شود. اما در بعضی موارد ممکن است طبقه‌بندی مناسب را در یک خاک کاملاً پرهزینه و زمان بر کند. اندازه‌گیری‌هایی دقیق همچنین برای تعریف افق تشخیصی خاک مورد استفاده می‌باشد که بود و نبود آن‌ها در تعیین جای یک خاک در نظام طبقه‌بندی خاک به ما کمک می‌کند.

افق‌های تشخیصی سطحی^۱

افق‌های تشخیصی سطحی ای‌پدون^۲ (از کلمه یونانی epi به معنی رو و پدون به معنی خاک) نام دارند. ای‌پدون شامل بخش رویی خاک تیره‌شده به وسیله‌ی ماده‌ی آلی، بخش‌های بالایی افق آبشویی‌شده و یا هر دو می‌باشد. این افق ممکن است بخشی از افق B را در صورتی‌که این افق به‌طور قابل ملاحظه‌ای با ماده‌ی آلی تیره‌رنگ شده باشد دربرگیرد. ۷ ای‌پدون مشخص شده‌اند اما فقط ۵ عدد از آن‌ها در خاک‌های آمریکا به‌وفور وجود دارند. دو افق تشخیصی سطحی دیگر تحت عناوین انثروپیک^۳ و پلاگن^۴ در نتیجه‌ی استفاده مستمر و پرنهاده از خاک‌ها به وسیله‌ی انسان به‌وجود آمده‌اند. این خاک‌ها در آسیا و اروپا که خاک‌ها در طول قرن‌های مدید مورد استفاده بوده‌اند یافت می‌شوند.

ای‌پدون مالیک^۵: (در لاتین mollis به معنی نرم است) یک افق معدنی سطحی است که به‌خاطر رنگ تیره (تابلو رنگی ۸) همراه با تراکم ماده‌ی آلی (بیشتر از ۶٪ درصد ماده‌ی آلی در تمام عمق افق) و عمق افق (معمولاً بیشتر از ۲۵ سانتی‌متر) و نرمی خاک حتی در هنگام خشک‌بودن مشخص می‌گردد. این افق دارای درصد اشباع بازی زیاد (بیشتر از ۵۰ درصد) است. افق مالیک حداقل سه سده در سال وقتی دمای خاک تا عمق ۵۰ سانتی‌متر پیش از ۵ درجه دمای سانتیگراد است، مرطوب می‌باشد.

این افق سطحی خاص خاک‌هایی است که در زیر پوشش گیاهان چمنی بومی تکامل یافته‌اند (شکل ۳-۳ و تابلو رنگی ۸).

ای‌پدون آمبریک^۶: (در لاتین umbra به معنی سایه و تیره می‌باشد) دارای همان خصوصیات کلی افق مالیک است با این تفاوت که درصد اشباع بازی کمتر از ۵۰ درصد است. در مقایسه با ای‌پدون مالیک این افق معدنی معمولاً در بارندگی بیشتر و در جاهایی که ماده مادری دارای مقدار کمتری کلسیم و منیزیم است تشکیل می‌گردد.

افق اگریک^۷: (در لاتین mechor به معنی رنگ‌پریده) یک افق معدنی است که یا بسیار نازک و دارای رنگ بسیار روشن بوده و یا دارای ماده‌ی آلی بسیار اندکی است که نمی‌تواند جزء افق‌های مالیک و آمبریک باشد. این افق معمولاً به اندازه‌ی افق‌های مالیک و آمبریک عمیق نبوده و ممکن است و به‌خاطر ماده‌ی آلی اندک در هنگام خشک‌بودن سخت و متراکم باشد (تابلوهای رنگی ۱، ۷ و ۱۱ را مشاهده کنید).

افق ملانیک^۸: (در یونانی melas و melan به معنی سیاه است) یک افق معدنی است که به‌خاطر میزان ماده‌ی آلی بسیار زیاد آن (کربن آلی بیشتر از ۶٪ درصد) بسیار تیره است. این افق مشخصه‌ی خاک‌هایی است که دارای کانی‌هایی مانند آلوفان می‌باشند که از خاکسترهای

^۱ - Diagnostic surface horizons

^۲ - Epipedon

^۳ - Anthropic

^۴ - Plaggen

^۵ - Mollic

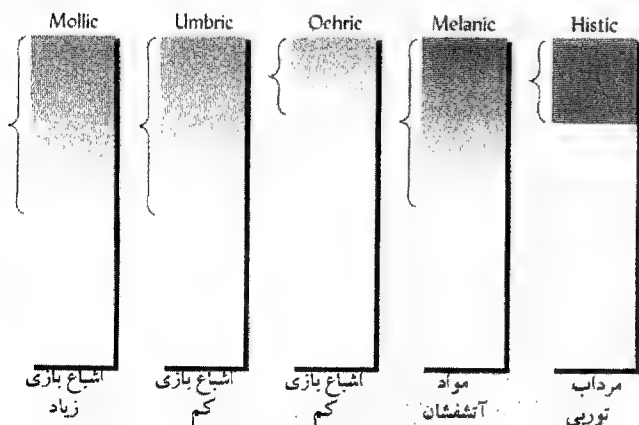
^۶ - Umbric

^۷ - Ochric

^۸ - Melanic

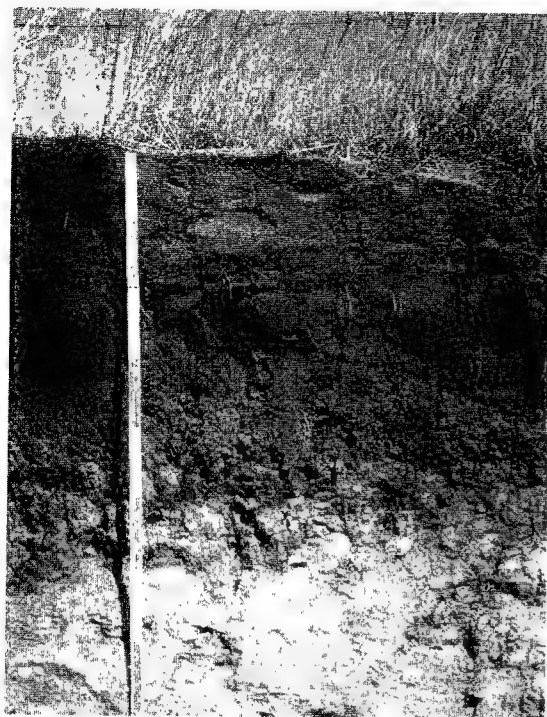
آتش‌فشانی تکامل یافته‌اند. این افق دارای بیشتر از ۳۰ سانتی‌متر عمق و از نظر وزن یک خاک معدنی فوق‌العاده سبک و متخلخل می‌باشد (تابلو رنگی ۲ را مشاهده کنید).

افق هیستیک^۱: (histos در یونانی به معنی بافت است) یک افق نسبتاً نازک متشکل از مواد آلی خاک^۲ است که بر روی یک افق معدنی قرار گرفته است. این افق در مناطق مرطوب تشکیل می‌شود. افق هیستیک معمولاً شامل یک لایه تورب (پیت) و یا پوده (ماک) با عمق ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر است که دارای رنگ قهوه‌ای تیره و وزن مخصوص ظاهری بسیار پایین می‌باشد.



شکل ۲-۳ خاک‌رخ شاهد مشخص‌کننده‌ی ۵ افق تشخیص سطحی (ایپیدون). میزان ماده آلی و توزیع آن به وسیله‌ی تیره‌بودن رنگ مشخص شده است. افق‌های مالیک و آمبریک دارای توزیع مشابه ماده‌ی آلی می‌باشند. اما اشباع بازی در افق مالیک زیاد (بیش از ۵۰ درصد) و در افق آمبریک کم (کمتر از ۵۰ درصد) می‌باشد. افق اکریک دارای ماده‌ی آلی کمتری می‌باشد و بنابراین دارای رنگ روشن‌تری بوده و در هنگام خشک‌شدن تا حدی سخت است. دو افق سطحی دیگر دارای ماده‌ی آلی بسیار بالایی بوده و دارای رنگ تیره می‌باشند. افق ملانیک بر روی مواد آتش‌فشانی جدید تشکیل شده و معمولاً در

مناطق سرد مرطوب تکامل می‌یابند. افق هیستیک از مواد آلی بر روی خاک‌های معدنی در شرایط مرطوب و با طلافی تشکیل شده است. عمق نسبی هر افق به وسیله‌ی ابروها نشان داده شده است.



Ap
A2
Bt1
Bt2
Bk

شکل ۳-۳ افق سطحی مالیک در این خاک شامل افق‌های Ap، A2 و Bt می‌باشد که همگی بر اثر تراکم ماده‌ی آلی تیره شده‌اند.

^۱ - Histic

^۲ - مواد آلی خاک مانند تورب (Peat) و پوده (Muck) که ممکن است به‌طور کامل از ماده‌ی آلی تشکیل شده باشند از نظر فنی مشخص شده‌اند که باید دارای میزان بیشتری ماده‌ی آلی از یک حداقل که در زیر آمده است باشند. اگر مواد به‌طور طبیعی از آب اشباع نباشند، ماده‌ی آلی حداقل باید ۳۵ درصد باشد (حدود ۲۰۰ گرم کربن آلی در کیلوگرم خاک) اگر در بخشی از سال از آب اشباع باشند، در آن صورت میزان ماده‌ی آلی در ارتباط با مقدار رس است. اگر رس کم باشد ماده‌ی آلی ۲۰ درصد و اگر مقدار رس از ۶۰ درصد بیشتر باشد ماده‌ی آلی ۳۰ درصد می‌باشد. برای بحث بر روی میزان ماده‌ی آلی و کربن آلی به بخش ۳-۱۲ مراجعه کنید

جدول ۱-۳ چهره‌های اصلی افق‌های تشخیصی که در خاک‌های معدنی برای تفکیک خاک‌ها در ردیف‌های بالای رده‌بندی به کار می‌روند.

افق‌های تشخیصی و علائم مشخصه توارثی	چهره‌های اصلی
افق‌های سطحی یا اپی‌پدون	
Mollic (A)	افق ضخیم تیره رنگ دارای درصد اشباع بازی زیاد و ساختمان قوی
Umbric (A)	همانند افق مالیک فقط دارای درصد اشباع بازی کم
Ochric (A)	افق کم رنگ دارای ماده‌ی آلی کم. ممکن است خاک در حالت خشک سخت و متراکم باشد.
Histic (A)	افق دارای ماده‌ی آلی خیلی زیاد. در بعضی از فصول سال مرطوب می‌باشد
Anthropic (A)	افق شبیه مالیک و تحت تأثیر انسان دارای فسفر قابل استفاده‌ی زیاد می‌باشد
Plaggen (A)	افق چمنی ساخت انسان که در اثر تراکم کود آلی در طول سال‌ها ایجاد شده است.
Melanic (A)	افق ضخیم سیاه رنگ دارای ماده‌ی آلی زیاد (کربن آلی بیش از ۶ درصد) در خاک‌های حاصل از خاکستر آتش‌فشانی
افق‌های زیر سطحی	
Argillic (B _t)	تراکم رس‌های سیلیکاتی
Natric (B _{tn})	تراکم رس‌های سیلیکاتی سرشار از سدیم دارای ساختمان ستونی و یا منشوری
Spodic (B _h , B _s)	تراکم ماده‌ی آلی و اکسیدهای آهن و آلومینیوم
Cambic (Bw, Bg)	تغییر و یا تعویض به وسیله‌ی حرکت فیزیکی و یا فعل و انفعال شیمیایی
Agric (A یا B)	تراکم ماده‌ی آلی و رس درست در زیر لایه‌ی شخم بر اثر عملیات کشت و کار
Oxic (B _o)	مخلوطی از اکسیدهای آهن و آلومینیوم و رس‌های سیلیکاتی غیرچسبنده که به شدت هوادیده شده‌اند
Duripan (q _m)	لایه‌ی سخت که به وسیله‌ی سیلیس به شدت سیمانی شده است.
Fragipan (X)	لایه‌ی شکننده معمولاً با بافت لومی که به طور ضعیف سیمانی شده است.
Albic (E)	افق دارای رنگ روشن که رس و اکسیدهای آهن و آلومینیوم عمدتاً از آن خارج شده است
Calcic (K)	تراکم کربنات کلسیم و یا کربنات کلسیم و منیزیم
Gypsic (Y)	تراکم گچ
Salic (Z)	تراکم نمک
Kandic	تراکم رس‌های دارای فعالیت کم اکسیدهای آهن و آلومینیوم و رس‌های کانولینیت
Petrocalcic (K _m)	افق کربنات کلسیم سیمانی شده
petrogypsic (ym)	افق تراکم گچ سیمانی شده
Placic (S _m)	لایه نازک که فقط با آهن و یا منگنز و یا ماده‌ی آلی سیمانی شده است.
Sombric (B _n)	افق تراکم ماده‌ی آلی با درصد اشباع پایین خاک‌های سرد مرطوب فلات‌ها
Sulfuric	افق به شدت اسیدی با نقاط متقوش جاروسیت

افق‌های تشخیصی زیرین^۱

بسیاری از افق‌های زیرین برای مشخص کردن خاک‌های مختلف در رده‌بندی به کار می‌روند. ۱۸ افق تشخیصی همراه با چهره‌های اصلی آن‌ها در جدول ۱-۳ و شکل ۳-۳ آمده‌اند. هر کدام از این افق‌ها خصوصیتی را ارایه می‌کنند که برای قرار دادن یک خاک در طبقه خاص خود در نظام کمک می‌کند. به طور مختصر تعدادی از این افق‌ها را تشریح می‌کنیم.

^۱ - Diagnostic subsurface horizons

افق ارچلیک^۱: یک لایه زیر سطحی حاصل از تراکم رس‌های سیلیکاتی خیلی فعال است که از افق‌های بالایی به طرف پایین شسته شده و یا در محل تشکیل گردیده‌است. نمونه‌ای در تابلو رنگی ۱ در بین ۲۵ تا ۷۰ سانتی‌متری مقیاس عکس نشان داده شده است. رس‌ها اغلب به صورت پوشش بر روی دیواره منافذ (در شکل ۳-۴ نشان داده شده است) و سطح گروه‌های ساختمانی یافت می‌شوند. پوشش‌های رسی اغلب به صورت یک سطح براق و یا پل رسی (Clay bridge) بین دانه‌های شن دیده می‌شوند که تحت عنوان ارچیلان (Argillans) و یا پوسته‌ی رسی (Clay skins) مشهورند. آن‌ها از تراکم رس جابه‌جاشده از افق بالا ایجاد شده‌اند (تابلورنگی ۲۳ را مشاهده کنید).

افق ناتریک^۲: این افق نیز دارای تراکم رس‌های سیلیکاتی (با پوسته‌ی رسی) می‌باشد. اما رس‌ها حاوی بیش از ۱۵ درصد سدیم قابل تعویض در کمپلکس کلوییدی بوده و دارای واحدهای ساختمانی منشوری و ستونی می‌باشند. افق ناتریک عمدتاً در افق‌های خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک یافت می‌شوند. نمونه‌ای در شکل ۱۱-۴ نشان داده شده است.

افق کاندیک^۳: دارای تراکم اکسیدهای آهن و آلومینیوم و همین‌طور رس‌های سیلیکاتی با فعالیت کم (مثل کائولین) می‌باشد اما آشکاربودن پوسته رسی چندان مورد نیاز نیست. فعالیت این رس‌ها با توجه به ظرفیت پایین نگهداری کاتیون آن‌ها (کمتر از ۱۶ سانتی‌مول در کیلوگرم) ضعیف است. یک طبقه A که بر روی افق کاندیک قرار دارد، معمولاً بیشترین میزان رس خود را از دست داده است.

افق اکسیک^۴: افق زیرسطحی با هوادیدگی شدید و دارای مقدار زیادی اکسیدهای آهن و آلومینیوم و رس‌های سیلیکاتی کم‌فعالیت (کائولین). ظرفیت نگهداری کاتیون کمتر از ۱۶ سانتی‌مول در کیلوگرم رس می‌باشد. این افق دارای حداقل ۳۰ سانتی‌متر عمق و کمتر از ۱۰ درصد کانی‌های قابل هوادیدگی در بخش زیرین خاک می‌باشد. این افق از نظر فیزیکی پایدار بوده و دارای ساختمان اسفنجی و به‌رغم میزان رس زیاد آن چسبنده نیست. این افق‌ها عمدتاً در مناطق مرطوب گرمسیری و نیمه‌گرمسیری یافت می‌شوند (تابلورنگی ۹ فاصله ۱ تا ۳ یا در مقیاس را مشاهده کنید).

افق اسپودیک^۵: افق تراکم یافته از موادی است که مشخصه آن تراکم اکسیدهای آلومینیوم (با و یا بدون اکسید آهن) و مواد آلی کلوییدی می‌باشد، معمولاً در خاک‌های جنگلی شدیداً آبشویی شده (Leached) در اقلیم مرطوب سرد بر روی مواد مادری شنی یافت می‌شوند. (تابلو ۱۰ را مشاهده کنید. لایه‌های قهوه‌ای مایل به قرمز و سیاه زیر لایه مایل به سفید)

افق سومبریک^۶: افق آبشویی شده که به دلیل تراکم ماده‌ی آلی زیاد دارای رنگ تیره می‌باشد. این افق دارای درصد اشباع بازی پایین بوده و معمولاً در خاک‌های سرد مرطوب فلات‌ها و کوه‌های مرتفع در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری یافت می‌شوند.

افق البیک^۷: افق دارای رنگ روشن آبشویی شده^۸ که از نظر رس و اکسیدهای آهن و آلومینیوم فقیر می‌باشد. این مواد عمدتاً از این افق برداشته شده و به پایین خاک‌رخ حرکت کرده است. (تابلو ۱۰، حدود عمق ۱۰ سانتی‌متری را مشاهده کنید).

تعدادی از افق‌ها دارای تجمع مواد شیمیایی نمک‌مانند هستند که از افق‌های بالایی در خاک‌رخ آبشویی شده‌اند. افق کلسیک^۹ دارای تجمع کربنات‌ها (عمدتاً $CaCO_3$) که اغلب به صورت گردانه‌های گچ‌مانند مشاهده می‌شوند. (افق Bk در بخش پایین خاک‌رخ در شکل ۳-۳ را مشاهده کنید). افق‌های جیسیک (Gypsic) دارای تجمع گچ ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) و افق‌های سالیک (Salic) دارای تجمع نمک‌های محلول می‌باشند. این افق‌ها عمدتاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک وجود دارند. در بعضی از افق‌های تشخیصی زیرزمینی مواد سیمانی شده در نتیجه لایه‌های نسبتاً غیرقابل نفوذ که سخت لایه^{۱۰} نامیده می‌شوند مانند دوری پن^{۱۱}، فراچی پن^{۱۲}، و افق پلاسیک^{۱۳} حاصل می‌شوند. این لایه‌ها در مقابل حرکت آب

1 - Argillic horizon

2 - Natric

3 - Kandic

4 - Oxic

5 - Spodic

6 - Sombric

7 - Albic

8 - Eluvial horizon

9 - Calcic

10 - Pan

11 - Duripan

12 - Fragipan

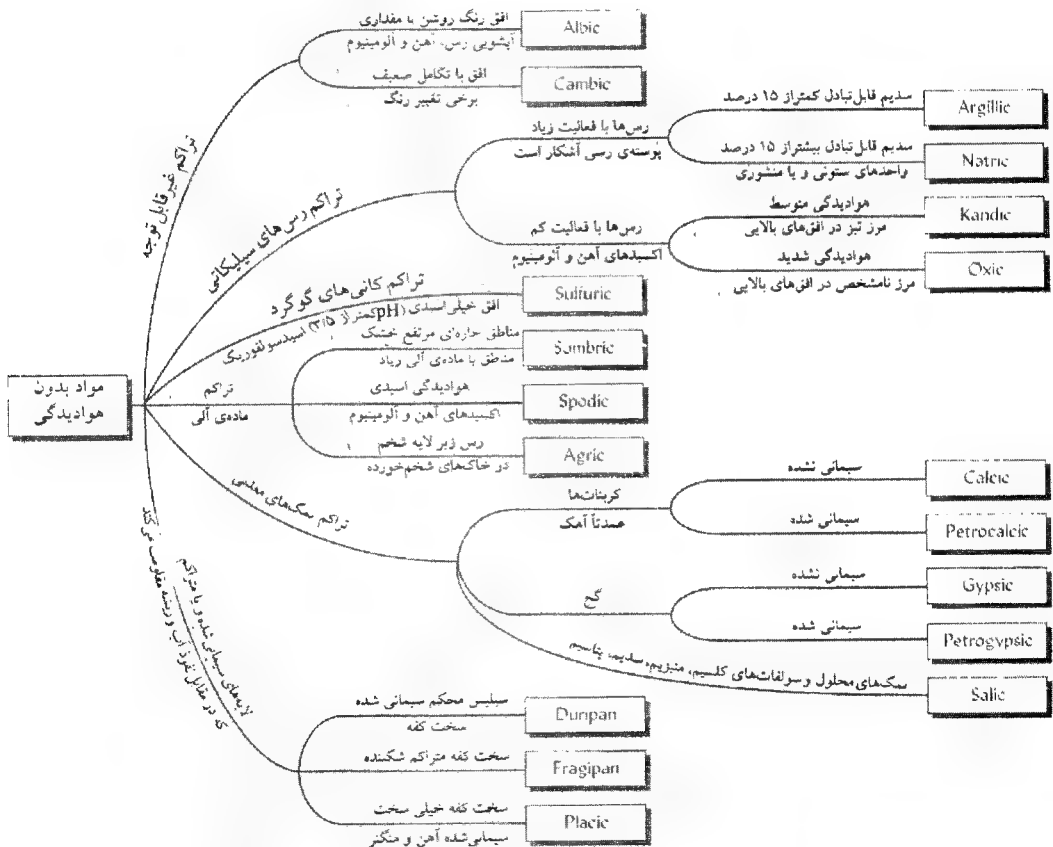
13 - Placic

و انتشار ریشه‌ی گیاهان مقاومت می‌کنند^۱ و از رشد گیاه ممانعت کرده و ممکن است سبب تسریع روان‌آب و فرسایش گردد، زیرا آب باران به آسانی در داخل خاک حرکت نخواهد کرد. تکوین این لایه‌ها همراه با افق‌های تشخیصی زیرزمینی دیگر در شکل ۳-۴ مورد بحث قرار گرفته‌اند.

رژیم‌های رطوبتی خاک^۲

رژیم رطوبتی خاک به حضور و یا نبود شرایط اشباع (معمولاً بر اثر آب زیرزمینی) و یا آب قابل استفاده گیاهان مربوط می‌شود. آب در دوره‌های مشخص از سال در بخشی از خاک که بخش نظارت^۳ نامیده می‌شود وجود داشته و یا وجود ندارد. مرز فوقانی بخش نظارت عبارتست از عمق انتشار ۲/۵ سانت آب بعد از ۲۴ ساعت در داخل خاک خشک و مرز تحتانی آن عبارتست از عمق انتشار ۷/۵ سانتی‌متر آب در داخل خاک خشک می‌باشد. بخش نظارت خاک از ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متر برای خاک‌های بافت نرم (رسی)، و ۳۰ تا ۹۰ سانتی‌متر برای خاک‌های شنی متغیر است. طبقات مختلف رژیم رطوبتی برای مشخص کردن خاک‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. درصد توزیع مناطق با رژیم‌های مختلف رطوبتی در جهان در جدول ۲-۳ آمده است.

رژیم رطوبتی اکویک^۴: در این رژیم خاک از آب اشباع بوده و عملاً فاقد اکسیژن گازی آزاد برای مدت زمان کافی می‌باشد که با شواهد تهویه ضعیف (نقاط اکسید، احیا شده) مشخص می‌شوند. بیشتر از ۸ درصد خاک‌های جهان در کلاس اکویک طبقه‌بندی شده‌اند.



شکل ۳-۴ نام و خصوصیات قابل توجه افق‌های تشخیصی زیرزمینی. توجه کنید که نقطه تمرکز عمدتاً بر روی خصوصیات خاک است نه بر روی چگونگی تحول احتمالی خصوصیات. در بین خصوصیات اهمیت بر تجمع رس‌های سیلیکاتی، ماده‌ی آلی، اکسیدهای آهن و آلومینیوم، ترکیبات کلسیم و نمک‌های محلول و همین‌طور مواد سیمانی شده و یا شدیداً اسیدی شده که سبب ممانعت از رشد ریشه‌ای می‌شود قرار دارد. بود و نبود این افق‌ها نقش عمده‌ای در تعیین جای طبقه در رده‌بندی خاک دارد. فصل ۸ را برای بحث در مورد رس‌های بیش‌وکم فعال ملاحظه کنید.

^۱ - افق‌های ارجلیک خوب تکامل یافته ممکن است دارای چنان افزایش زیاد و ناگهانی در مقدار رس باشند که حرکت آب و ریشه گیاهان را به شدت محدود کنند. این افق‌ها معمولاً با واژه غیر رده‌بندی سخت لایه رسی نامیده می‌شود.

^۲ - Soil moisture regimes (SMR)

^۳ - Soil control section

^۴ - Aquic

جدول ۲-۳ درصد مساحت جهانی خاک‌ها با رژیم‌های مختلف رطوبتی و دمایی

رژیم دمایی خاک‌ها	رژیم رطوبتی خاک‌ها						جمع
	اریدیک	زریک	یوستیک	یودیک	پریودیک	اکوئیک	
پرچلیک	۳/۷	---	---	۵/۳	---	۱/۹	۱۰۰۹
کریک	۴/۳	---	---	۸/۵	۰	۰/۵	۱۳/۵
فریجید	۰/۵	---	۰/۲	۰/۴	---	---	۱/۲
مزیک	۵/۴	۰/۸	۰/۶	۵/۳	۰/۱	۰/۲	۱۲/۵
ترمیک	۳/۳	۲/۶	۱/۵	۳/۰	۰/۲	۰/۶	۱۱/۴
هایپرترمیک	۱۵/۷	---	۱/۵	۱/۰	۰	۰/۳	۱۸/۵
ایزو فریجید	۰	---	---	۰	۰	۰	۰/۱
ایزو مزیک	---	---	---	۰/۲	۰	۰	۰/۳
ایزو ترمیک	۰/۶	---	۱/۰	۰/۷	۰	۰	۲/۴
ایزوهایپرترمیک	۲/۱	---	۱۳	۸/۴	۰/۴	۱/۹	۲۶۰
آب	---	---	---	---	---	۱/۲	۱۰۲
یخ	---	---	---	---	---	۱/۴	۱/۴
جمع	۳۵/۹	۳/۵	۱۸/۰	۳۳/۱	۱	۸/۳	۱۰۰

رژیم رطوبتی یودیک^۱ : رطوبت خاک در طول سال در اکثر سال‌ها برای برآورد نیاز گیاهان کافی می‌باشد. این رژیم در خاک‌های اقلیم مرطوب معمول بوده و حدود ۱/۲ سطح جهان را می‌پوشاند. یک رژیم رطوبتی خیلی مرطوب با آبشویی خاک در سرتاسر طول سال پریودیک^۲ نامیده می‌شود.

رژیم رطوبتی یوستیک^۳ : رطوبت خاک در حد واسطه رژیم یودیک و اریدیک بوده معمولاً برای برآورد نیاز آبی گیاهان در طول فصل رشد آن‌ها کافی می‌باشد. گرچه دوره‌های خشکسالی قابل توجه نیز ممکن است وجود داشته باشد. حدود ۱۸ درصد اراضی جهان در این طبقه دسته‌بندی شده‌اند.

رژیم رطوبتی اریدیک^۴ : خاک حداقل در نصف فصل رشد خشک است و کمتر از ۹۰ روز متوالی مرطوب است. این رژیم مختص خاک‌ها در مناطق خشک می‌باشد. رژیم توریک^۵ برای بیان همان شرایط رطوبتی در مناطقی که در تابستان گرم و خشک است به کار می‌رود. گرچه ممکن است زمستان گرم نباشد.

رژیم زریک^۶ : این رژیم رطوبتی در اقلیم مدیترانه‌ای با زمستان‌های خنک مرطوب و تابستان‌های خشک گرم یافت می‌شود. همانند رژیم یوستیک این رژیم دارای دوره‌های خشک طولانی در تابستان است.

این واژه‌ها برای مشخص کردن رژیم رطوبتی خاک به کار رفته و نه تنها در طبقه‌بندی خاک‌ها مؤثر است بلکه برای استفاده دراز مدت منطقی از خاک‌ها برای اطمینان از پایداری آن‌ها یاری دهنده می‌باشد.

رژیم دمایی خاک‌ها

رژیم‌های دمایی خاک مانند فریجید^۷، مزیک^۸، ترمیک^۹، برای طبقه‌بندی خاک در سطوح پایین رده‌بندی خاک به کار می‌رود. رژیم کریک (Cryic)، (Kryos در یونانی به معنی خیلی سرد) در سطوح بالای رده‌بندی به کار می‌رود. این رژیم‌های دمایی بر اساس میانگین دمای

۱ - Udic
 ۲ - Perudic
 ۳ - Ustic
 ۴ - Aridic
 ۵ - Torric
 ۶ - Xeric
 ۷ - Frigid
 ۸ - Mesic
 ۹ - Thermic

سالانه و تفاوت بین میانگین دمای زمستان و تابستان در عمق ۵۰ سانتی متری خاک می‌باشد. رژیم‌های خاص دمایی در بخش ۱۷-۳ در هنگام بحث در مورد خانواده خاک مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۳-۳ طبقات رده‌بندی و نام‌گذاری خاک

شش طبقه در رده‌بندی خاک وجود دارد که عبارتند از ۱- راسته (order) بالاترین و گسترده‌ترین طبقه رده‌بندی ۲- زیرراسته (sub order) ۳- گروه بزرگ (greatgroup) ۴- زیرگروه (subgroup) ۵- خانواده (family) ۶- سری (series) (طبقه‌ی بسیار خاص).

این طبقات ممکن است با طبقه‌بندی گیاهان همان‌طور که در جدول ۳-۳ آمده است مورد مقایسه قرار گیرند. شیدر سفید *Trifolium repense* و لوم سیلنی میامی به ترتیب نمونه‌هایی از گیاهان و خاک می‌باشند. درست مانند *T. repens* که یک نوع گیاه به‌خصوص را مشخص می‌کند، سری میامی یک نوع خاک خاص را مشخص می‌سازد. این مشابهت در رده‌بندی تا بالاترین طبقه (شاخه) (Phylum) برای گیاهان و راسته برای خاک‌ها ادامه دارد.

نام‌گذاری در رده‌بندی خاک

چهره‌ی منحصربه‌فرد رده‌بندی خاک نام‌گذاری آوایی غیرمعمول است که برای تشخیص طبقات مختلف خاک به‌کار می‌رود. این نام‌گذاری گرچه در نظر اول نا آشناست اما نظام نام‌گذاری دارای ساختمان منطقی بوده و اطلاعات فراوانی درباره‌ی طبیعت خاک‌های نام‌گذاری شده ارایه می‌دهد. یادگیری این نظام نام‌گذاری پس از اندک مطالعه‌ی آسان می‌باشد. این نام‌گذاری در سرتاسر کتاب به‌خصوص برای تعیین خاک‌هایی که در شکل‌ها آمده است مورد استفاده قرار گرفته است. در هنگام مطالعه تلاش فکری کنید که بخش‌هایی از اسم کلاس‌های مورد اشاره در کتاب و یا شکل‌ها را تشخیص دهید و سطح رده‌بندی را درک کنید. این نظام جزء طبیعت ثانوی شما خواهد شد. اسامی واحدهای طبقه‌بندی از ترکیب هجاهایی که عمدتاً از لاتین و یا یونانی ناشی شده است تشکیل گردیده و کلمات ریشه‌ای در اکثر زبان‌های نوین را تشکیل می‌دهند. از آن‌جا که هر بخش از نام خاک مفاهیمی از خصوصیت و یا توارث خاص را بیان می‌کند اسم خاک به‌طور خودکار نوع کلی خاک مورد طبقه‌بندی را تشریح می‌کند. برای نمونه خاک‌های راسته‌ی *Aridisols* (از کلمات *aridus* به‌معنی خشک و *solum* به‌معنی خاک در لاتین مشتق شده است) مشخصه‌ی خاک‌های خشک در اقلیم خشک می‌باشد. خاک‌ها در راسته‌ی *Inceptisols* (از کلمه‌ی *inceptum* لاتین به‌معنی آغاز و *solum* به‌معنی خاک) خاک‌هایی هستند که از نظر تکامل خاک‌رخ در مرحله‌ی شروع و یا آغازین می‌باشند. بنابراین، اسامی راسته‌ها از ترکیب زیرراسته‌ها به‌طور خودکار راسته‌ای را که به آن تعلق دارند مشخص می‌سازد. برای نمونه خاک‌های زیرراسته‌ی *Aquolls* خاک‌های مرطوب (در لاتین *aqua* به‌معنی آب است) از راسته‌ی مولی‌سول می‌باشند. به‌همین ترتیب اسامی گروه‌های بزرگ مشخص‌کننده زیررده راسته‌ای هستند که به آن تعلق دارند. *Argiaquolls* عبارت از *Aquoll*‌های می‌باشند که دارای رس و یا افق ارجلیک (در لاتین *argilla* به‌معنی رس سفید است) می‌باشند. در نمونه تشریحی زیر توجه کنید که سه حرف *oll* طبقات زیرین در راسته‌ی *Mollisols* را مشخص می‌سازند.

زیرگروه	گروه بزرگ	زیرراسته	راسته
Typic Argiaquolls	Argiaquolls	Aquolls	Mollisols

همین‌طور نام زیرراسته در بخشی از نام گروه بزرگ و زیرگروه آمده است. اگر به کسی فقط اسم زیرگروه داده شود اسامی گروه بزرگ، زیرراسته و راسته‌ای که خاک به آن تعلق دارد به‌طور خودکار مشخص می‌شود.

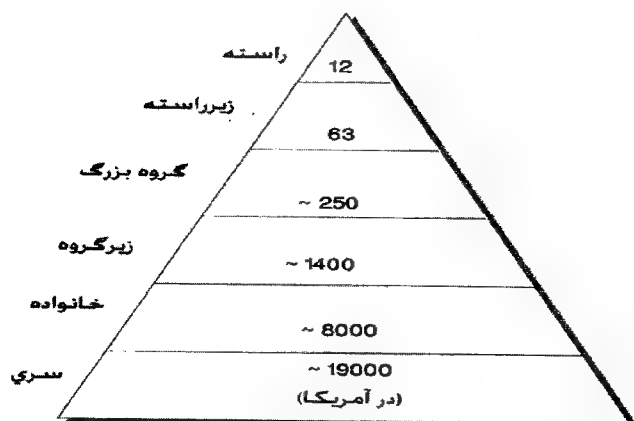
اسامی خانواده‌ها بیانگر زیرمجموعه‌ای از زیرگروه‌هاست که دارای بافت و ترکیب کانی‌شناسی یکسان و میانگین دمای همانند در عمق ۵۰ سانتی‌متر می‌باشند. بنابراین نام *Typic Argiaquolls*, *Fine mixed mesic active* مشخص‌کننده‌ی نام فامیل خاک در زیرگروه *Argiaquolls* با بافت ریز کانی‌شناسی مخلوط رسی، رژیم حرارتی مزیک (دمای متوسط سالانه ۱۵-۸ درجه سانتیگراد) و رس‌های فعال از نظر تبادل کاتیونی می‌باشند.

اسامی سری‌ها مربوط به چهره‌های جغرافیایی (شهر، رودخانه و...) است که سری بار اول در نزدیکی آن مشخص شده است بنابراین نام‌هایی مانند *Fort Collins*، *Cecil*، *Miami*، *Ontario* بیانگر سری‌های است که اول بار در نزدیک این شهرها مطالعه و نام‌گذاری شده‌اند. حدود ۱۹۰۰۰ سری خاک تنها در آمریکا طبقه‌بندی شده است (شکل ۵-۳).

در مطالعات دقیق صحرایی سری‌های خاک به تقسیمات فرعی‌تر بر اساس بافت خاک سطحی، درجه‌ی فرسایش، شیب و سایر خصوصیات جدا شده‌اند. این واحدهای فرعی عملی فاز خاک^۱ نامیده می‌شوند. اسامی مانند Cecil Clay ، Fort Collins loam ، Cecil clayloam eroded برای تشخیص این سری‌ها به کار می‌روند. توجه کنید که فاز خاک در نقاط محلی دارای ارزش عملی بوده اما در نظام طبقه‌بندی منظور نمی‌شوند. با این تشریح مختصر در مورد نام‌گذاری نظام جدید حال سرشت کلی خاک‌ها را در هر راسته مورد ملاحظه قرار می‌دهیم.

۳-۴ راسته‌های خاک

هر کدام از خاک‌های جهان به یکی از ۱۲ راسته‌ی خاک تعلق دارد، راسته‌ی خاک عمدتاً بر اساس خصوصیات خاک است که بیانگر جریان تکاملی خاک بوده و با تأکید بر بود و نبود افق‌های تشخیصی عمده‌ی تبیین می‌گردند. (جدول ۳-۴). برای مثال، بسیاری از خاک‌هایی که در تحت یک چمن‌زار تکامل یافته‌اند دارای همان توالی عمومی افق‌ها بوده و با افق تشخیصی سطحی (ای پدون) مولیک ضخیم و تیره رنگ که از کاتیون‌های بازی سرشار می‌باشند مشخص می‌شوند. خاک‌ها با این خصوصیات، چنین به ذهن متبادر می‌شود که در تحت همان فرایندهای عمومی توارثی به وجود آمده‌اند، اما این به خاطر خصوصیات مشترک آن‌هاست که در همان راسته مولی-سول قرار می‌گیرند. اسامی و خصوصیات هر کدام از راسته‌های خاک در جدول ۳-۴ نشان داده شده است. توجه کنید در انتهای اسامی تمام راسته‌ها sols (در لاتین solum به معنی خاک) آمده است.



شکل ۳-۵ گروه‌های رده‌بندی خاک و تعداد واحدها در هر گروه

جدول ۳-۳ مقایسه طبقه‌بندی شبدر سفید با خاک سری میامی

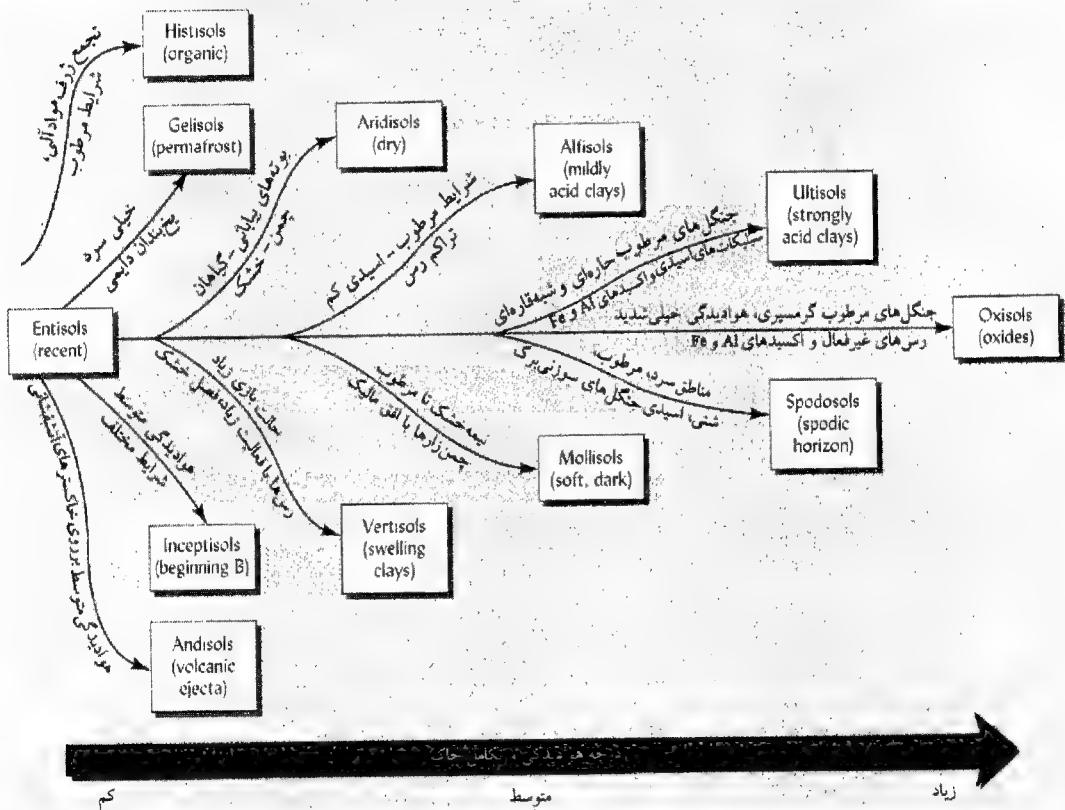
طبقه‌بندی گیاهان			طبقه‌بندی خاک	
شاخه	Peterophyta	افزایش	راسته	Alfisols
طبقه	Angiospermae	اختصاصی	زیرراسته	Udalfs
زیرطبقه	Dicotylidoneae	بودن	گروه بزرگ	Hapludalfs
راسته	Rosales		زیرگروه	Oxyaquic Hapludalfs
خانواده	Leguminosae		خانواده	Fine loamy mixed mesic, active
جنس	Trifolium		سری	Miami
گونه	repens		فاز *	Miami silt loam

* به طور فنی فاز در یک طبقه در رده‌بندی به حساب نمی‌آید، اما در مطالعات صحرایی کاربرد دارد. silt loam مربوط به بافت افق A می‌باشد.

شرایط کلی که سبب ارتقای تشکیل خاک در راسته‌های مختلف می‌شود. در شکل ۳-۶ آمده است. با توجه به خصوصیات خاک‌رخ خاک دانشمندان می‌توانند میزان تکامل خاک را در راسته‌های مختلف همان‌طور که در این شکل نشان داده شده است، مشخص کنید. توجه

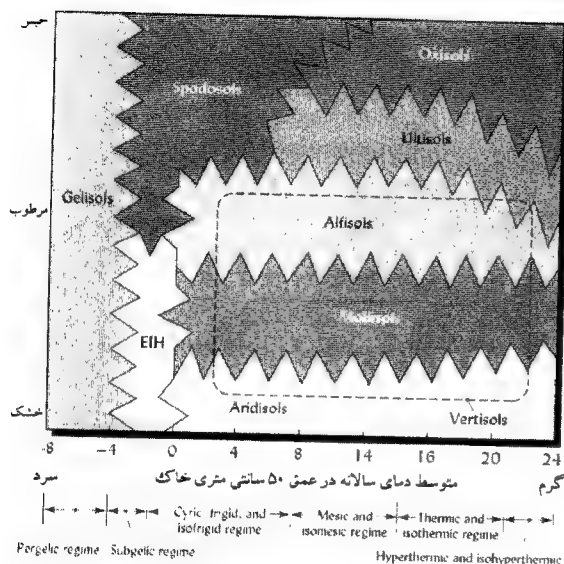
کنید که خاک‌ها بدون لایه بندی اساسی خاکرخ (آنتی‌سول‌ها) دارای کمترین تکامل بوده درحالی که خاک‌ها با هوادیدگی شدید تا اعماق خاکرخ در مناطق گرم و مرطوب (اکسی‌سول‌ها و آنتی‌سول‌ها) بیشترین تکامل خاک را نشان می‌دهند. اثر اقلیم (رطوبت و دما) و پوشش گیاهی (جنگل و چمن‌زار) نیز در نوع خاک‌هایی که تکامل پیدا می‌کنند در شکل ۳-۶ آمده است. جدول ۴-۳ و شکل ۳-۶ را برای درک بهتر رابطه بین خصوصیات خاک و واژه‌های به کار رفته در راسته‌بندی خاک مطالعه کنید.

اکثر راسته‌های خاک موجود در اقلیم جغرافیایی می‌توانند به وسیله رژیم‌های رطوبتی و دمایی تا حدی تشریح شوند. شکل ۳-۷ بعضی از روابط بین راسته‌های خاک را در ارتباط با این عوامل آب‌وهوایی تشریح می‌کند. درحالی که فقط راسته‌های ژلی‌سول و اریدسول مستقیماً به وسیله اقلیم تشریح شده‌اند. شکل ۳-۷ مشخص می‌سازد که راسته‌های خاک‌های شدیداً هوازه معمولاً با اقلیم‌های گرم‌تر و مرطوب‌تر همراهند. شکل ۳-۸ یک نقشه‌ی عمومی ساده شده‌ی خاک است که اراضی عمده‌ی تحت غلبه‌ی هر راسته خاک را در آمریکا نشان می‌دهد. خاکرخ هر راسته خاک به صورت رنگی در تابلوهای ۱ تا ۱۲ آمده است. یک نقشه‌ی تفصیلی خاک (همراه با علائم نقشه) برای آمریکا در قسمت ضمیمه (الف) آمده است. یک نقشه کلی جهانی ۱۲ راسته خاک به صورت رنگی در اول کتاب آمده است.

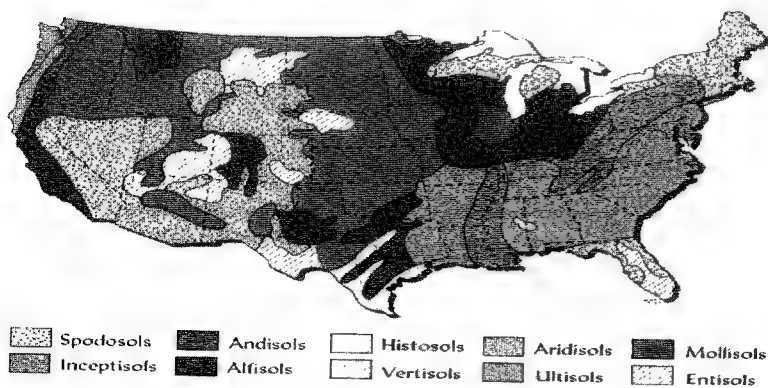


شکل ۳-۶ نموداری که درجات کلی هوادیدگی و تکامل خاک را در راسته‌های مختلف که در رده‌بندی خاک طبقه‌بندی شده‌اند نشان می‌دهد. به علاوه شرایط کلی آب‌وهوایی و پوشش گیاهی که خاک‌های هر راسته تحت آن تکامل می‌یابند نشان داده شده است.

درحالی که تشریح سطوح پایین رده‌بندی خاک فراتر از هدف این کتاب (و یا هر کتاب دیگری) است، دانش کلی در مورد ۱۲ راسته خاک برای درک طبیعت و رفتار خاک‌ها در اقلیم مختلف اساسی می‌باشد. کلید ساده‌ی ارائه شده در شکل ۳-۹ به ما در تشریح این‌که چگونه رده‌بندی خاک می‌تواند برای پیدا کردن راسته‌های هر خاک بر اساس خصوصیات قابل مشاهده، قابل اندازه‌گیری مورد استفاده قرار گیرد کمک می‌کند. به خاطر این که بعضی از خصوصیات تشخیصی بر بعضی دیگر رجحان دارند کلید باید همیشه از بالا به پایین مورد استفاده قرار گیرد. مرور دوباره‌ی این کلید بعد از مطالعه خصوصیات کلی، طبیعت و محل قرار گرفتن راسته‌ها مفید خواهد بود. حال هر کدام از راسته‌های خاک را مورد ملاحظه قرار می‌دهیم و با راسته‌هایی که کمترین تکامل خاکرخ را داشته‌اند شروع کرده و تا راسته‌هایی که دارای هوادیده‌ترین خاکرخ‌ها هستند (در شکل ۳-۶ از چپ به راست آمده‌اند) پیش می‌رویم.



شکل ۳-۷ نموداری که نشان‌دهنده رژیم‌های رطوبتی و دمایی کل خاک است که مشخص‌کننده اکثر خاک‌های واقع در هر ۸ راسته‌ی خاک است. خاک‌های چهار راسته‌ی دیگر (اندی‌سول، آنتی‌سول، انستی‌سول و هیستوسول) ممکن است در هر شرایط رطوبتی و دمایی (از جمله منطقه‌ای که با EIH مشخص شده است) یافت شود. اکثر اراضی رتی‌سول در مناطقی قرار دارند که مواد رسی به وفور وجود دارند و رژیم‌های رطوبتی و دمایی تقریباً مشابه آنچه است که در داخل مستطیل با خطوط بریده نشان داده شده است. توجه کنید که رابطه‌ی تقریبی وجود خاک‌های اندکی از هر راسته به‌طور زیاد در خارج مستطیل وجود دارند. برای مثال بعضی آنتی‌سول‌ها (استولت) و اکسی‌سول‌ها (استوکس) دارای مقادیر رطوبت در بعضی از قسمت‌های سال بسیار کمتر از آنچه در نمودار نشان داده شده می‌باشند.

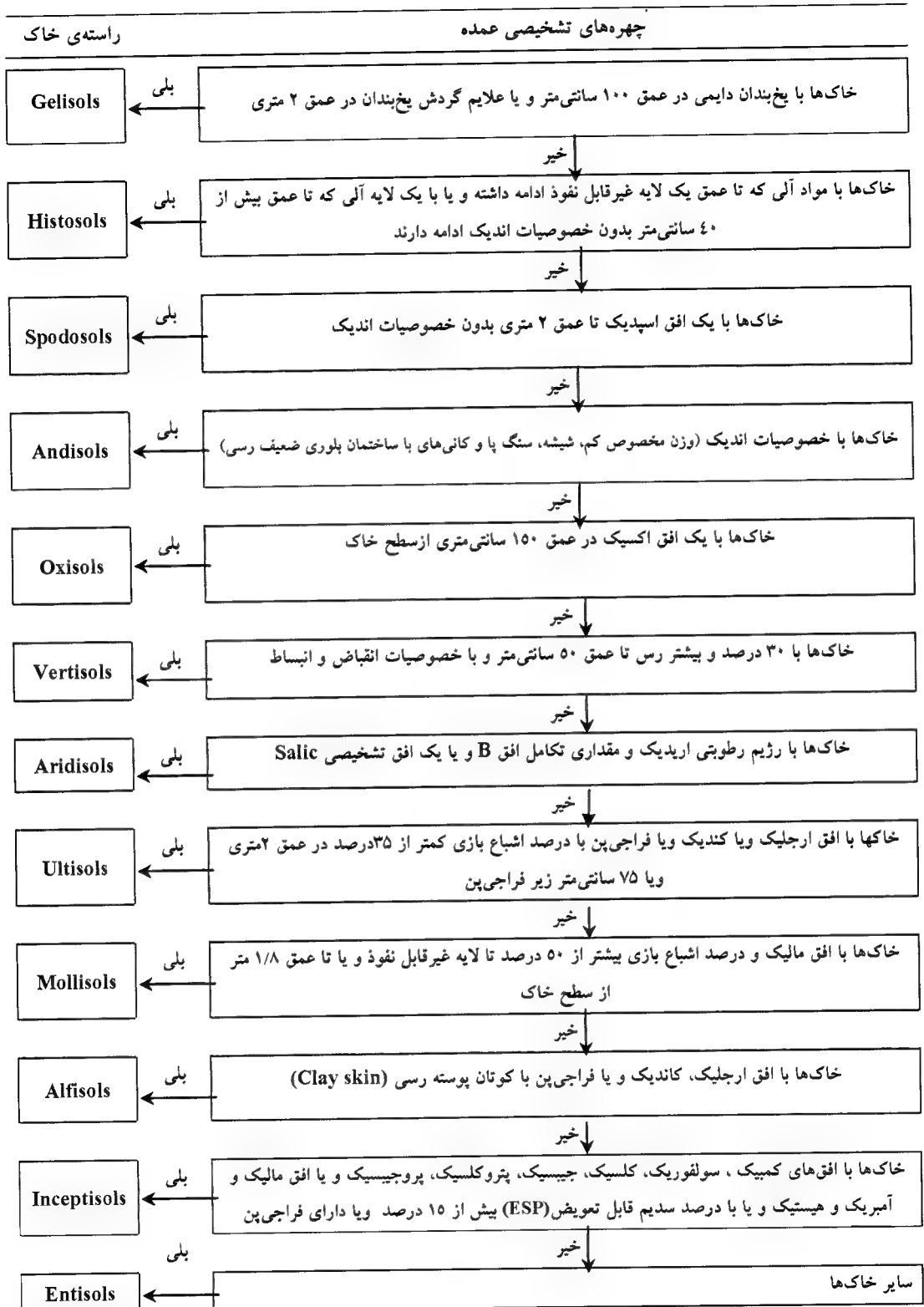


شکل ۳-۸ نقشه کلی ساده شده‌ی خاک ایالات متحده‌ی آمریکا نشان‌دهنده‌ی توزیع راسته‌های خاک بر اساس رده‌بندی خاک. برای مشاهده‌ی نقشه تفصیلی توزیع راسته‌ها و زیرراسته‌های خاک آمریکا به ضمیمه‌ی الف یا سایت زیر مراجعه کنید:

<http://www.statlab.iastate.edu/soil/photogal/orders/ordmap.htm>

جدول ۳-۴ اسامی رده‌های خاک در رده‌بندی با منشأ و خصوصیات مهم آن‌ها. حروف درشت مشخص شده در اسامی راسته‌ها بیانگر عنصر سازنده است که در آخر نام زیرراسته‌ها و دیگر رده‌های پایین داخل راسته به‌کار می‌رود.

نام	عنصر سازنده	منشأ	تلفظ	خصوصیات عمده
Alfisols	alf	نمایه بدون معنی	Pedalfer	افق‌های kandic, nitric, argillic, با درصد اشباع بازی متوسط تا زیاد
Andisols	and	ژاپنی. ando. خاک سیاه	Andesite	از گدازه‌های آذرین. رس آلوئان و یا هم‌تافت آلومینوم و هموس
Aridisols	id	لاتین. aridus. خشک	Arid	خاک خشک، افق ochric، بعضی مواقع افق‌های nitric, argillic
Entisols	ent	نمایه بدون معنی	Recent	تکامل خاک‌رخ اندک، افق ochric معمول است
Gelisols	el	یونانی. gelid. خیلی سرد	Jelly	پیچ‌بندان دایمی اغلب با گردش یخ (cryoturbation)
Histosols	ist	یونانی. histo. بافت	Histology	خاک‌های مردابی یا تورب‌زار بیش از ۲۰٪ ماده آلی
Inceptisols	ept	لاتین. Inuptun. بافت	Inception	خاک‌های جینی با چهره‌های تشخیص اندک cambic, umbric, achric
Mollisols	oll	لاتین. mollis. نرم	Mollify	افق mollic، درصد اشباع بازی زیاد، خاک‌های تیره، بعضی با افق nitric و Aroillic
Oxisols	ox	فرانسه. oxide. اکسید	Oxide	افق oxic. بدون افق argillic، با هوادیدگی شدید
Spodosols	od	یونانی. spods. خاکستر چوب	Podzol: odd	افق spodic. معمولاً با اکسیدهای آهن، آلومینوم و تراکم هموس
Ultisols	ult	لاتین. ultimus. آخرین	Ultimate	افق argillic یا kandic با درصد اشباع بازی کم
Vertisols		لاتین. verto. گردش	Invert	رس‌های با انبساط زیاد، ترک‌های ژرف در خاک خشک



شکل ۹-۳ کلید ساده‌شده برای ۱۲ رسته در طبقه‌بندی خاک. در استفاده از کلید باید همیشه از بالا به پایین حرکت کنید. توجه کنید چگونه افق‌های تشخیصی و سایر خصوصیات خاک‌رخ برای تمایز رسته‌ی خاک از بقیه‌ی رسته‌ها به کار می‌رود. آنتی‌سول که فاقد چهره‌ی تشخیص خاصی است در آخر مشخص می‌شود. همچنین توجه کنید که توالی رسته‌های خاک در این کلید ارتباطی با میزان تکامل خاک ندارد و رسته‌های خاک مجاور در مقایسه با خاک‌های غیرمجاور ممکن است خیلی مشابه نباشند. بخش ۲-۳ را برای توضیحاتی درباره افق‌های تشخیصی مطالعه کنید.

۵-۳ آنتی سول ها (خاک های جدید با تکامل ناچیز خاکرخ)

شامل زیرراسته های Aqueuts (مرطوب)، Arents (افق های مخلوط شده)، Fluents (نه نشست آبرفتی)، Orthents (شاخص) و Psamments (یافت شنی) می باشد.

آنتی سول ها، خاک های معدنی با تکامل ضعیف و بدون افق های طبیعی ژنتیکی (افق های سطحی و افق های زیر سطحی) و یا فقط با شروع ابتدایی این افق ها می باشند. (تابلو ۴). بیشتر آنتی سول ها دارای اپی پدون اکریک و تعدادی دارای افق های انسان ساخت اتروپیک و اکریک^۱ بعضی دارای یک افق زیرزمینی البیک می باشند. این راسته دربرگیرنده دو حد نهایی: خاک های بسیار حاصلخیز در آبرفت جدید (فلونت ها)^۲ و خاک های غیر حاصلخیز شن زار روان و همچنین خاک های کم عمق بر روی سنگ مادر می باشد.

این راسته شامل گروه گسترده ای از خاک ها فاقد وجوه مشترک بوده و تنها نبود شواهد تشکیل خاک و یا شواهد اولیه تشکیل خاک در آن ها مشترک است. آنتی سول ها یا خاک های جوان بوده و یا مواد مادری آن ها واکنشی به تشکیل خاک نشان نداده اند. آن ها ممکن است بر روی مواد مادری مانند گدازه های تازه و یا آبرفت جدید (فلونت ها) که در آن ها زمان اندکی برای تکامل خاک وجود داشته است تشکیل گردند. در مناطق خیلی خشک کمبود آب و پوشش گیاهی از تشکیل خاک جلوگیری می کند. همین طور تشکیل خاک در صورت اشباع مکرر آب دچار تأخیر خواهد گردید (اکونت ها)^۳ بعضی از آنتی سول ها در روی شیب های تند، که نرخ فرسایش خاک از نرخ تشکیل خاک بیشتر است، یافت می شوند و بنابراین از توسعه افق ها ممانعت می گردد. آنتی سول های دیگر بر روی مناطق ساختمان سازی که بولدزرها افق های خاک را از بین برده و یا مخلوط می کنند سبب تبدیل خاک های موجود به آنتی سول ها می شوند که بعضی برای آن ها نام اربنت^۴ (آنتی سول های شهری) پیشنهاد کرده اند.

توزیع آنتی سول ها و استفاده از آن ها

در مقیاس جهانی آنتی سول ها حدود ۱۶ درصد اراضی سطح زمین را که زیر پوشش یخ نمی باشند تشکیل می دهند. (جدول ۳-۵ را مشاهده کنید). آنتی سول ها در تحت شرایط اقلیمی بسیار متنوعی در آمریکا یافت می شوند. (شکل ۸-۳ و بخش ضمائم را مشاهده کنید). برای مثال، در منطقه کوه های راکی و در جنوب غربی نگراس، آنتی سول های کم عمق بافت متوسط (ارتنت ها)^۵ بر روی سنگ های سخت مشاهده می شوند. این خاک ها عمدتاً به صورت مرتع مورد استفاده قرار می گیرند. آنتی سول های شنی (پسامنت)^۶، شکل ۱۰-۳ در فلوریدا، آلاباما و جورجیا یافت می شوند و بخش کوه های شنی نبراسکا را مشخص می سازند. پسامنت ها به صورت اراضی زراعی در مناطق مرطوب به کار می روند. بعضی از اراضی تولید مرکبات، سبزی ها و بادام زمینی در جنوب آمریکا مختص پسامنت ها می باشند و آنتی سول ها بازه کشی ضعیف و سیلگیری فصلی (اکونت ها) در دره های اکثر رودخانه ها یافت می شوند.



شکل ۱۰-۳ خاکرخ یک پسامنت که در آبرفت شنی در ویرجینیا تشکیل شده است. به تجمع ماده ی آلی در افق A بدون هر نشانه ی دیگری از تشکیل خاکرخ توجه کنید. طول چاقو ۲۵ سانتی متر است.

- 1 - Agric
- 2 - Fluents
- 3 - Aqueuts
- 4 - Urbents
- 5 - Orthents
- 6 - Psamments

جدول ۳-۵ سطح تقریبی اراضی در راسته‌های مختلف به صورت درصد اراضی فاقد پوشش یخ‌بندان دایمی در جهان و آمریکا نوع استفاده عمده و حاصلخیزی طبیعی این خاک‌ها نیز ارائه شده است.

راسته‌ی خاک	زیرراسته (الف)	درصد اراضی فاقد یخ‌بندان		نوع استفاده اصلی	حاصلخیزی طبیعی
		جهان (ب)	آمریکا (ج)		
Alfisols					
	Aqualfs	۹/۶۵	۱۴/۵۱	زراعت - جنگل	بالا
	Cryalfs	۱/۹۴	۰/۶۸	جنگل	بالا
	Udalfs	۲/۰۹	۷/۲۱	زراعت - جنگل	بالا
	Ustalfs	۴/۳۶	۳/۲۳	زراعت	بالا
	Xeralfs	۰/۶۹	۰/۹۲	مرتع	بالا
Andisols					
	Cryands	۰/۲	۱/۷۴	توندرا- جنگل	متوسط
	Xerands	۰/۰۱	۰/۳۴	جنگل - مرتع	متوسط
Aridisols					
	Argids	۱۲/۱	۸/۷۸	زراعت - مرتع	کم تا متوسط
	Calcids	۳/۷۵	۳/۷۷	مرتع	کم
	Cambids	۲/۲۳	۱/۱۸	زراعت - مرتع	کم
	Cryids	۰/۷۳	۰/۰۱	مرتع	کم
	Durids	۰/۰۱	۰/۸۵	مرتع	کم
	Gypsid	۰/۵۳	۰/۱۶	مرتع	کم
	Salids	۰/۶۹	۰/۲۷	مرتع	کم
Entisols					
	Aquepts	<۰/۰۱	۱۲/۱۶	اراضی مرطوب - زراعت	متوسط
	Fluents	۲/۲۰	۱/۷۸	زراعت	متوسط
	Psamments	۳/۴۱	۲/۸۱	زراعت - مرتع	کم
	Orthents	۱۰/۵۸	۵/۹۳	جنگل، مرتع، زراعت	کم تا متوسط
Gelisols					
	Histels	۸/۶۱	۷/۵	باتلاق	متوسط
	Orthels	۳/۰۲	۷/۴۷	توندرا	متوسط
	Turbels	۴/۸۸	<۰/۰۱	توندرا	متوسط
Histosols					
	Hemists	۰/۷۶	۱/۲۸	اراضی مرطوب - زراعت	متوسط تا بالا
	Saprists	۰/۲۶	۰/۹۴	اراضی مرطوب - زراعت	بالا

(الف): برای صرفه جویی در جا زیرراسته‌هایی که کمتر از ۰/۲۵ درصد سطح اراضی را در آمریکا و جهان شامل شده‌اند از این جدول حذف شده است سطح کل اراضی جهان که زیر پوشش یخ نیست ۱۲۹۷۸۸۲۳ کیلومتر مربع و سطح آمریکا نیز ۸۷۳۹۲۷۵ کیلومتر مربع می‌باشد.

(ب): مساحت کره‌ی زمین از اطلاعات پایه جهانی FAO به وسیله‌ی بخش خاک‌شناسی/وزارت کشاورزی آمریکا، منابع خاک‌های جهان در واشنگتن دی‌سی تهیه شده است.

(ج): مساحت آمریکا از پایگاه اطلاعاتی جغرافیای خاک ایالتی (STATSGO) محاسبه شده که در سال ۱۹۹۷ به وسیله‌ی بخش خاک‌شناسی، سازمان حفاظت منابع طبیعی/وزارت کشاورزی آمریکا در مرکز مطالعات ملی خاک‌شناسی در شهر لینکلن آمریکا ایجاد شده است.

ادامه جدول ۳-۵ سطح تقریبی اراضی در رده های مختلف به صورت درصد اراضی فاقد پوشش یخ بنندان دایمی در جهان و آمریکا نوع استفاده عمده و حاصلخیزی طبیعی این خاک ها نیز ارائه شده است.

رده ی خاک	زیر رده	درصد اراضی فاقد یخ بنندان		نوع استفاده اصلی	حاصلخیزی طبیعی
		جهان	آمریکا		
Inceptisols					
	Aquepts	۹/۹۱	۹/۱۱	زراعت	کم تا بالا
	Cryepts	۱/۵۷	۱/۴۷	توندرا - جنگل	کم تا متوسط
	Udepts	۴/۱۰	۳/۹۰	جنگل - زراعت	کم تا متوسط
	Ustepts	۱/۱۰	۱/۶۷	جنگل - زراعت	کم تا زیاد
	Xerepts	۱/۱۰	۰/۸۹	مرتع - جنگل	متوسط تا زیاد
		۶/۹۴	۲۲/۴۰		
Mollisols					
	Aquolls	< ۰/۰۱	۲/۶۴	زراعت - اراضی مرطوب	بالا
	Cryolls	۰/۹	۱/۵۱	زراعت - مرتع	بالا
	Udolls	۰/۹۷	۴/۰۹	زراعت	بالا
	Ustolls	۴/۰۴	۹/۷۶	زراعت - مرتع	بالا
	Xerolls	۰/۷۱	۴/۲۰	زراعت - مرتع	بالا
		۷/۵۶	< ۰/۰۱		
Oxisols					
	Peroxs	۰/۹	۰	جنگل	کم
	Udoxs	۴/۰۱	< ۰/۰۱	جنگل - زراعت	کم
	Ustoxs	۲/۳۹	< ۰/۰۱	جنگل - زراعت	کم
		۲/۵۸	۳/۲۷		
Spodosols					
	Aquods	< ۰/۰۱	۰/۵۸	جنگل	کم
	Cryods	۱/۹	۰/۶۴	جنگل	کم
	Orthods	۰/۵۱	۲	جنگل	کم
		۸/۵۲	۹/۶۱		
Ultisols					
	Aquults	۰/۹۹	۰/۸۶	جنگل	کم تا متوسط
	Udults	۴/۲۷	۸/۴۹	جنگل - زراعت	کم
	Ustults	۲/۹۸	۰/۰۱	جنگل - زراعت	کم
		۲/۴۴	۱/۷۲		
Vertisols					
	Aquerts	< ۰/۰۵	۰/۶۴	اراضی مرطوب - زراعت	بالا
	Torrerts	۰/۶۹	۰/۱۱	مرتع	بالا
	Uderts	۰/۳۱	< ۰/۰۱	زراعت	بالا
	Usterts	۱/۳۶	۰/۸۴	زراعت - مرتع	بالا
		۱۴/۰۷	۷/۸۱		

شن روان یا سنگ

شن روان یا سنگ

آنتی‌سول‌ها احتمالاً حتی در شرایط اقلیمی بسیار متفاوت‌تر در خارج آمریکا یافت می‌شوند. (بخش ضمایم را مشاهده کنید). پسمانت‌ها به‌طور شاخص در بیابان صحرا و عربستان سعودی و بخش‌های غالب در آفریقا، مرکز و شمال مرکزی استرالیا وجود دارند. آنتی‌سول‌های آبرفت جدید (فلونث‌ها) در اراضی تحت کشت متمرکز برنج در آسیا به وفور وجود داشته و این محصول خوراکی مهم را برای نسل‌ها تولید کرده است. آنتی‌سول‌های دارای بافت متوسط (ارتنت‌ها) در کبک شمالی و بخش‌های از آلاسکا، سبیری و تبت وجود دارند. ارتنت‌ها خاک‌های شاخص بعضی از مناطق کوهستانی مانند آندها^۱ در آمریکای جنوبی و بعضی اراضی مرتفع، که از ترکیه تا پاکستان ادامه دارد یافت می‌شوند. توان تولید کشاورزی آنتی‌سول‌ها بر حسب موقعیت و خصوصیات آن‌ها بسیار متغیر است. با کود دادن کافی و عرضه آب به مقدار لازم بعضی از آنتی‌سول‌ها دارای توان تولید کاملاً بالا می‌باشند. در واقع آنتی‌سول‌های تکامل‌یافته بر روی سیلدشت‌های آبرفتی جزو خاک‌های بسیار حاصلخیز و پرتولید جهان می‌باشند. شیب کم و نزدیک بودن به آب برای آبیاری و فراهم کردن عناصر غذایی به‌طور متناوب با رسوبات حاصل از طغیان رودخانه‌ها بر روی این خاک‌ها سبب توسعه تمدن‌های بزرگ جهانی بوده‌اند. گرچه، محدودیت‌هایی در عمق خاک، میزان رس و یا آب قابل استفاده سبب محدودیت توان تولید در آنتی‌سول‌ها شده است.

۶-۳ انسپتی‌سول‌ها با چهره‌های تشخیصی اندک و آغاز تکامل افق B

شامل زیرراسته‌های: Anthrepts (افق انسان ساخت با فسفر زیاد و رنگ تیره در سطح خاک)، Aquepts (مرطوب)، Cryepts (خیلی سرد)، Udepts (اقلیم مرطوب)، Ustepts (نیمه‌خشک)، Xerepts (تابستان‌های خشک و زمستان‌های مرطوب) می‌باشد. در انسپتی‌سول‌ها شروع و یا آغاز مراحل اولیه تکامل خاک‌رخ آشکار بوده و بعضی چهره‌های تشخیصی حضور دارند، گرچه خصوصیات خاک‌رخ خیلی مشخص خاک‌های تکامل‌یافته‌تر، هنوز در آن‌ها یافت نمی‌شود. برای نمونه، افق کمیگ^۲ که نشان‌دهنده تغییرات رنگ و ساختمان است در اکثر انسپتی‌سول‌ها معمول است، اما افق تکامل‌یافته B تجمع مواد، همانند افق ارجلیک^۳ نمی‌تواند وجود داشته باشد. سایر افق‌های زیرسطحی که ممکن است در انسپتی‌سول‌ها وجود داشته باشد شامل سخت کفه‌سیلیسی (دوری پن)، سخت کفه شکننده (فراجی پن)، کربنات کلسیم ثانویه (کلسیک)، سولفات کلسیم ثانویه (جیسیک) و سولفوریک می‌باشد. اپی‌پدون سطحی در اکثر انسپتی‌سول‌ها اکریک^۴ بوده گرچه افق پلاگن^۵ و یا افق‌های ضعیف مولیک و آمبریک نیز ممکن است وجود داشته باشد. در انسپتی‌سول‌ها تکامل خاک‌رخ بیشتری نسبت به آنتی‌سول‌ها مشاهده می‌شود، اما در تعریف آن‌ها، خاک‌ها با افق‌های تشخیصی و یا خصوصیتی که دیگرراسته‌های خاک را مشخص کند راه ندارد. بنابراین، خاک‌ها با تکامل خاک‌رخ اندک که در مناطق خشک یافت می‌شوند و یا دارای خصوصیات پیچ‌بندان دایمی و خصوصیات اندیک می‌باشند جزء انسپتی‌سول‌ها محسوب نمی‌شوند. آن‌ها به ترتیب در راسته‌های اریدی‌سول، ژلی‌سول و اندی‌سول قرار دارند که در فصول بعد مورد تشریح قرار خواهند گرفت.

توزیع و نحوه استفاده از انسپتی‌سول‌ها

انسپتی‌سول‌ها به‌طور گسترده‌ای در سراسر جهان توزیع‌یافته‌اند، حدود ۹ درصد از خاک‌های جهان تحت این رده طبقه‌بندی شده‌اند (جدول ۳-۵). همانند آنتی‌سول‌ها، انسپتی‌سول‌ها در اکثر شرایط اقلیمی و زمین‌ریخت‌شناسی (فیزیوگرافیک) یافت می‌شوند. آن‌ها در مناطق کوهستانی به‌خصوص در مناطق حاره‌ای غالب می‌باشند. آن‌ها احتمالاً مهمترین راسته خاک در اراضی پست برنج‌زار آسیا می‌باشند. انسپتی‌سول‌ها در هریک از قاره‌ها وجود دارند (به صفحات پشت جلد مراجعه کنید). انسپتی‌سول‌های مناطق مرطوب اودپت‌ها^۶ نامیده شده و دارای افق‌های نازک سطحی با رنگ روشن می‌باشند (افق سطحی اکریک). این اودپت‌ها از نیویورک جنوبی، تا پنسیلوانیای مرکزی و غربی و ویرجینیای غربی و شرق انتاریو گسترش یافته‌اند. اودپت‌ها همراه زرت‌ها^۷ (انسپتی‌سول‌ها با رژیم رطوبتی زیریک) در یک منطقه که از جنوب اسپانیا تا فرانسه مرکزی و آلمان گسترش یافته است غالب می‌باشند و همین‌طور در شیلی، آفریقای شمالی، چین شرقی و سبیری غربی وجود دارند. انسپتی‌سول‌های مرطوب (اکوپت‌ها^۸) در مناطقی در امتداد رودخانه‌های آمازون و کنگا وجود دارند.

^۱ - Ands

^۲ - Cambic

^۳ - Argillic

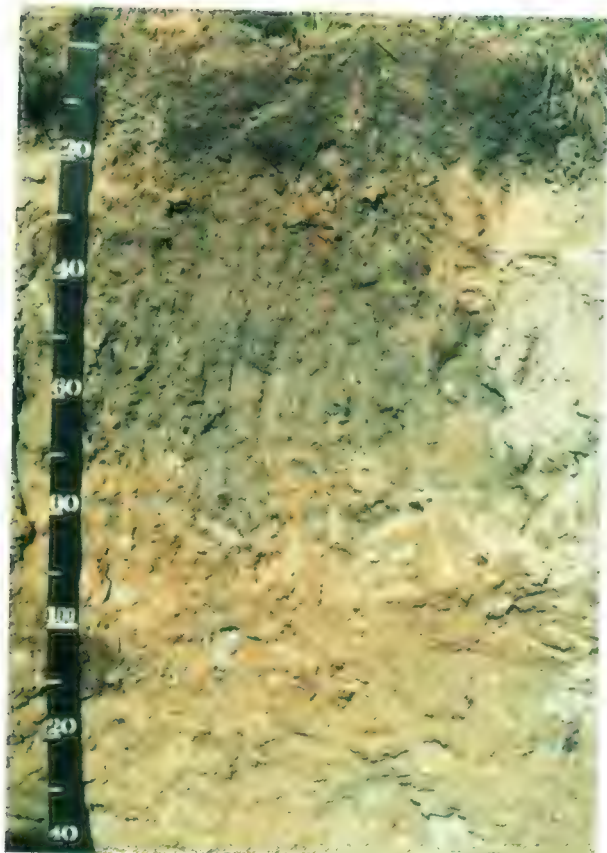
^۴ - Ochric

^۵ - Plaggen

^۶ - Udepts

^۷ - Xerepts

^۸ - Aquepts



تابلو رنگی ۱: الفی سول ها - یک Aeric Epiaqualf از غرب نیویورک، افق ارجلیک بین ۸۰-۲۰ سانتی متر، مقیاس بر حسب سانتی متر است.



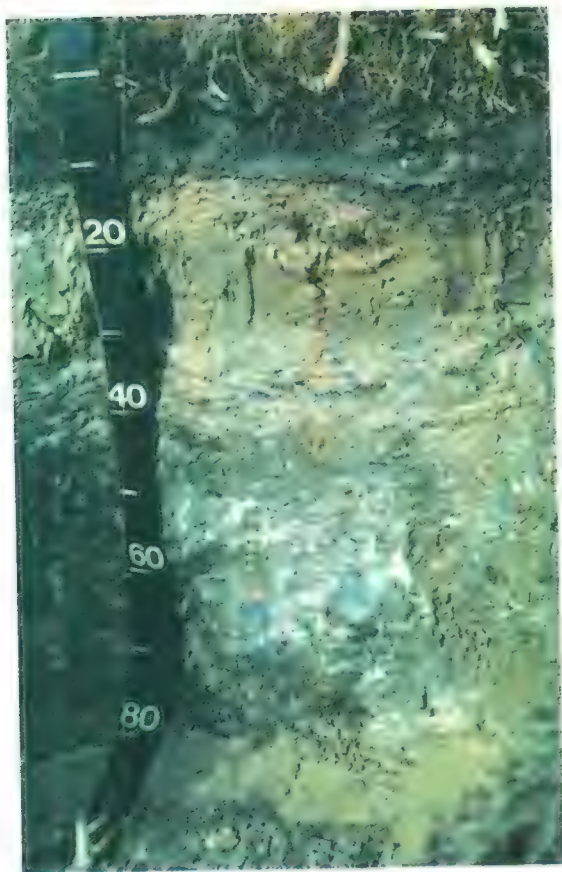
تابلو رنگی ۲: اندی سول ها - یک Typic Melanudand از غرب تانزانیا، مقیاس بر حسب دسی متر است.



تابلو رنگی ۳: ایریدی سول ها - یک Typic Haplocambid از غرب نوادا، مقیاس بر حسب فیت است.



و رنگی ۴: انتی سول ها - یک Typic Quartzipsamment غرب تگزاس، مقیاس بر حسب فیت است.



تابلو رنگی ۵: جلی سول ها - یک Aquaturbel از آلاسکا، یخ بندان دائمی در مقیاس زیر ۳۲ سانتی متر است.



تابلو رنگی ۶: هیستوسول ها - یک Limnic Haplosaprit از جنوب میشگان، خاک مدفون شده در زیر مقیاس، مقیاس بر حسب فیت است.



تابلو رنگی ۷: اینسپی سول ها - یک Typic Dystrudept از غرب ویرجینیا، چاقو در افق کمبیک قرار گرفته است.



تابلو رنگی ۸: مولی سول ها - یک Typic Hapludolf از مرکز یو، افق مولیک تا ۱/۸ فیت ادامه دارد. مقیاس بر حسب فیت است.



تابلو رنگی ۹: اکسی سول ها - یک Udeptic Hapludox از مرکز پورتریکو، مقیاس بر حسب فیت است.



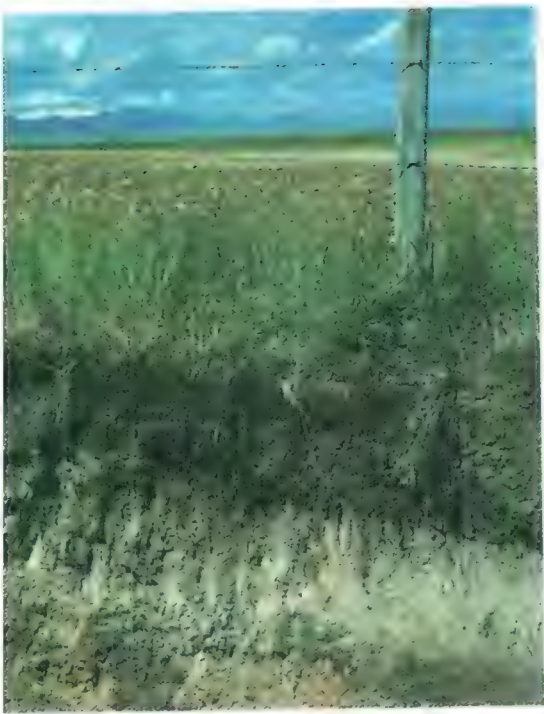
رنگی ۱۰: اسپدوسول ها - یک Humic Cryorthod از جنوب کبک کانادا، افق البیک در ژرفای ۱۰ سانتی متر، میله ۱۰ سانتی متر



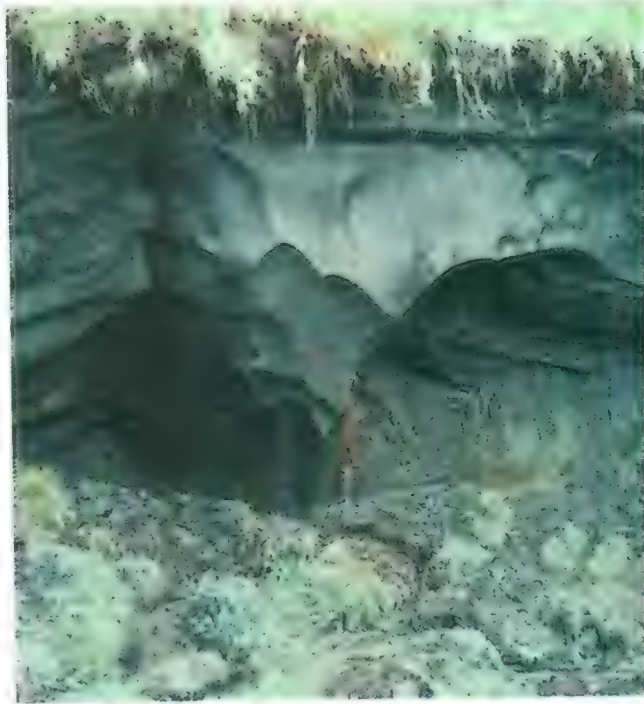
تابلو رنگی ۱۱: الی سول ها - یک Typic Hapludult از مرکز ویر- نشان دهنده سنگ جوش در زیر ۶۰ سانتی متری. به بیل توجه کنید.



تابلو رنگی ۱۲: ورتی سول ها - یک Typic Haplustert از کوینزلند استرالیا، در فصل مرطوب، مقیاس بر حسب متر است.



تابلو رنگی ۱۳: Typic Argiustolls در شرق مونتانا با افق رنگ سفید کلسیک (C_K و B_K) که بر روی آن یک افق م قرار گرفته است. (Bt, Az, Ap)



رنگی ۱۴: گوه‌های یخی و یخ‌بندان دایمی در زیر یک خاک جلی سول لاسکا، طول بیل یک متر است.



تابلو رنگی ۱۵: یک Typic Plinthudult در مرکز سری لانکا، منطقه‌ای پسته‌ای پلاپنتایت است که در آن سه ظرفیتی به محض خند به طور غیر قابل برگشت سخت شود.



۱۶: یک کاتنا و یا توالی پستی و بلندی در مرکز زیمبابوه، رنگ‌های رزه کشی داخلی بهتر است. عکس جایگذاری شده کلوخه‌های افق ام خاک ها در کاتنا می باشد.

توان تولید طبیعی انسپتی سول‌ها به‌طور قابل ملاحظه‌ای متغیر است. برای نمونه، آن‌هایی که در شمال غرب مجاور اقیانوس کبیر در آمریکا یافت می‌شوند کاملاً حاصلخیز بوده و بعضی از بهترین اراضی تولید گندم دنیا را شامل می‌باشند. برعکس، بعضی از اودپت‌ها دارای ماده‌ی آلی اندک در نیویورک غربی و پنسیلوانیای شمالی به‌طور طبیعی حاصلخیز نمی‌باشند. آن‌ها امکان یافته‌اند که بعد از سال‌های اولیه تولید محصولات زراعی مجدداً در زیر جنگل قرار گیرند.

۷-۳ اندی سول‌ها (خاک‌های خاکستر آتش‌فشانی)

شامل ریزراسته‌های Aquands (مرطوب)، Cryands (سرد)، Torrands (خشک، گرم)، Udands (مرطوب)، Ustands (مرطوب) / خشک) Vitrands (شیشه‌ی آتش‌فشانی) Xerands (تابستان‌های خشک - زمستان‌های مرطوب) می‌باشد. اندی سول‌ها بر روی خاکستر و گدازه‌های آتش‌فشانی تشکیل شده و معمولاً در نزدیک محل آتشفشان و یا مناطق دورتر در جهت وزش باد که لایه‌ای نسبتاً ضخیم نهشته شده‌اند. آن‌ها معمولاً در مواد آذرین که در دوره‌های جدید زمین‌شناسی ته‌نشین شده‌اند، وجود دارند. اندی سول‌ها به‌علت نبود زمان کافی، خیلی در معرض هواپدگی قرار نگرفته‌اند فرایند اصلی خاک‌سازی هواپدگی شدید (تغییر شکل) خاکسترهای آتش‌فشانی برای تولید سیلیکات‌های بی‌شکل و یا بلوری ضعیف مانند آلفان^۱ و ایموگلیت^۲ و هیدرواکسید آهن یعنی فری هیدریت^۳ می‌باشد. تراکم ماده‌ی آلی (اما چنان زیاد نیست که تشکیل افق هیستیک بدهد) به‌خاطر حفظ آن به‌وسیله‌ی ترکیبات پیچیده آلومینیوم و هموس کاملاً آشکار است. حرکت رو به پایین این کانی‌ها در خاک‌رخ کمتر انجام گرفته است. همانند آنتی سول‌ها و انسپتی سول‌ها، اندی سول‌ها خاک‌های جوان بوده و فقط ۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ سال است که تشکیل شده‌اند. بر خلاف دو رده خاک‌های تکامل نیافته مورد اشاره، اندی سول دارای خصوصیات شاخص اندیک مواد مادری می‌باشد.

اندی سول‌ها، دارای خصوصیات اندیک حداقل در ۳۵ سانتی متری از ۶۰ سانتی متری فوقانی خاک می‌باشد. مواد با خصوصیات اندیک دارای شیشه آتش‌فشانی و یا مقدار زیادی کانی‌های آهن و آلومینیوم بی شکل و یا بلوری ضعیف هستند. ترکیب این کانی‌ها با مواد آلی زیاد سبب ایجاد خاک‌های سبک متخلخل می‌شود که به آسانی شخم خورده اما دارای ظرفیت نگهداری آب زیاد می‌باشند که در مقابل فرسایش آن‌ها را مقاوم می‌سازد. آن‌ها عمدتاً در مناطقی یافت می‌شوند که بارندگی مانع از حساسیت آن‌ها در مقابل فرسایش بادی می‌گردد. اندی سول‌ها دارای حاصلخیزی طبیعی بالایی می‌باشند. به‌استثنای فسفر که قابلیت استفاده آن به‌خاطر ظرفیت بی‌اندازه زیاد تثبیت مواد اندیک (بخش ۸-۱۴ را مشاهده کنید) پایین می‌باشد. خوشبختانه، با مدیریت مناسب بقایای گیاهی و کودهای شیمیایی، معمولاً می‌توان بر این مشکل فائق آمد. بعضی از اندی سول‌ها دارای افق ملانیک که یک افق تشخیصی سطحی است می‌باشند. این افق دارای ماده‌ی آلی زیادی بوده و تیره رنگ است (تابلو ۲ را مشاهده کنید).

توزیع و طرز استفاده از اندی سول‌ها

اندی سول‌ها در مناطقی که خاکسترهای آتش‌فشانی و سایر مواد گدازه دارای عمق کافی باشند یافت می‌شوند. (شکل ۱۱-۳) در مقیاس جهانی آن‌ها کمتر از ۱ درصد سطح خاک‌های جهان را شامل می‌شوند (جدول ۵-۳)، گرچه، در کناره‌های اقیانوس کبیر آن‌ها خاک‌های مهم و پرتولید را شامل می‌گردند که محصولات زراعی پرنهاده را به‌خصوص در مناطق مرتفع خنک تولید می‌کنند. اندی سول‌های دارای رژیم رطوبتی بودیک (مرطوب)، و یا یودانت‌ها (Udands) در آسیا، در مقیاس گسترده مورد استفاده بوده و غذای کافی برای کشورهای پرجمعیت آن قاره تهیه می‌کنند. زیرراسته‌ی خشک‌تر و یا استاندها (Ustands) به‌صورت پرنهاده مورد استفاده‌ی کشاورزی می‌باشند. ادوات‌ها و استاندها، به‌طور گسترده‌ای در ریفت‌ولی^۴ در افریقای شرقی (تابلو رنگی ۲ را مشاهده کنید)، یافت می‌شوند. اندی سول‌ها در سطح کمتری در اقلیم سرد (کریاندها) (Cryands)، در کانادا و روسیه و در اقلیم گرم خشک (تورانددها) (Torrands)، در مکزیک و سوریه وجود دارند. فوران‌های آتش‌فشانی خیلی جدید مانند کوه هلن مقدس^۵ در شمال غربی آمریکا و کوه‌های پین تابو^۶ در فیلیپین سبب ایجاد زیر رده و پتراندها شده است که دارای شیشه آتش‌فشانی به‌مقدار زیاد بوده و ظرفیت نگهداری آب در آن‌ها کم می‌باشد.

^۱ - Allophane

^۲ - Imogolite

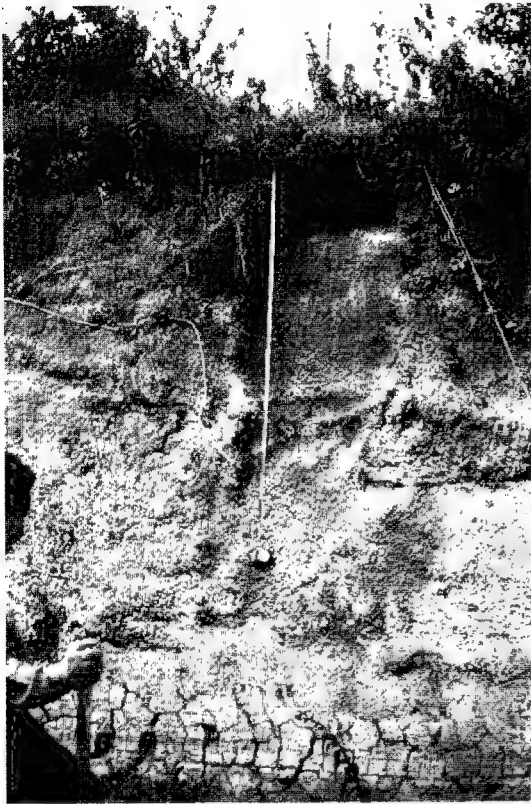
^۳ - Ferrihydrite

^۴ - Rift valley

^۵ - Mount Saint Helenes

^۶ - Pinetabo

در آمریکا منطقه‌ی تحت اندی‌سول‌ها به دلیل نبود گستردگی فوران‌های آتش‌فشانی جدید، وسیع نیست گرچه اندی‌سول‌ها در بعضی از خاک‌های حاصلخیز گندم زار و تولید الوار در واشنگتن، ایداهو و اورگن وجود دارند، برهمین منوال این رده‌ی خاک در بعضی از بهترین کشتزارهای آمریکای لاتین مانند آکودار و کلمبیا و در بیشتر سطح آمریکای مرکزی یافت می‌شوند.



ابی‌بدون مالیک

لایه‌ی سنگ پا

لایه‌های هودیده
خاکستر آتشفشانی
و سنگ پا

افق A مدفون
شده

لایه‌های قدیمی
سنگ پای
آتشفشانی

لایه‌های زیرین
رس منبسط شونده

شکل ۱۱-۳ یک اندی‌سول تکامل یافته بر روی
لایه‌های خاکستر آتش‌فشانی و سنگ پا در
آفریقای مرکزی

۸-۳ جلی‌سول‌ها^۱ (خاک‌ها با یخ‌بندان دایمی و چرخش خاک به وسیله‌ی یخ)

شامل زیرراسته‌های هیستل (Histels) (ماده‌ی آلی)، ارتل (Orthels) (معمول بدون چهره خاص)، و توربسل (Turbels) (گردش یخ^۲ در خاکرخ) می‌باشند. جلی‌سول‌ها خاک‌های جوان با تکامل خاکرخ اندک می‌باشند. دمای پایین و شرایط یخ‌بندان فرایند خاک‌سازی را در اکثر سال کند کرده است. چهره‌ی اصلی مشخصه این خاک‌ها حضور لایه یخ‌بندان دایم (تابلو رنگی ۵ و ۱۴ را مشاهده کنید) می‌باشد. لایه یخ‌بندان لایه‌ای از مواد است که در دمای زیر صفر سانتیگراد به مدت بیش از دو سال متوالی باقی می‌ماند. ممکن است یک لایه سخت سیمانی شده خاک به وسیله‌ی یخ باشد (در تشریح خاکرخ به صورت Cfm مشخص می‌شود). در جلی‌سول‌ها، لایه یخ‌بندان در فاصله‌ی ۱۰۰ سانتی‌متری از سطح خاک قرار دارد مگر این که گردش یخ در ۱۰۰ سانتی‌متر فوقانی آشکار باشد که در این صورت لایه یخ‌بندان دایمی ممکن است از عمق ۲۰۰ سانتی‌متری سطح خاک آغاز گردد. گردش یخ عبارت است از به هم خوردن فیزیکی مواد خاکی بر اثر ایجاد گوه‌های یخی و به وسیله‌ی انقباض و انقباض آب به دنبال یخ‌بندان و ذوب یخ می‌باشد. این عمل گردش یخ سبب حرکت دادن مواد و جهت دادن قطعات سنگ در جهت خطوط نیرو و ایجاد افق‌های به هم تابیده و شکسته شده (به صورت Cjz بیان شده‌اند) و یا تراکم مواد آلی در بالای ناحیه یخ‌بندان دائمی می‌گردد نمونه‌ای از «مهرازی خاک»، که به وسیله‌ی گردش یخ ایجاد شده، در شکل ۱۲-۳ نشان داده شده است. گردش یخ ممکن است اشکالی در سطح خاک مانند برجستگی‌ها و چند ضلعی‌های سرشار از یخ که چندین متر طول دارند ایجاد کند. در بعضی مواقع صخره‌ها ممکن است به شکل حلقه‌ها و یا شبکه توری به سطح خاک رانده شوند.

جلی‌سول‌هایی که در آن‌ها گردش یخ آشکار است توربیل نامیده می‌شوند سایر جلی‌سول‌ها که اغلب در محیط‌های مرطوب و اغلب با تراکم ماده‌ی آلی به وجود می‌آیند هیستیل می‌باشند (از واژه یونانی histos به معنای بافت، شکل ۱۳-۳). اکثر فرایندهای خاک‌سازی بر روی

^۱ - Gelisols

^۲ - Cryoturbation

منطقه یخ‌بندان در لایه‌ی فعال، که هر یک سال یا دو سال ذوب می‌شود صورت می‌گیرد. انواع افق‌های مختلف تشخیصی ممکن است در جلی سول‌های متفاوت تکامل یابند که از جمله‌ی آن‌ها مالیک، هیستیک، آمبریک، کمبیک و گاهی افق ارجلیک می‌باشند.



شکل ۱۲-۳ شیوه‌های پیچش و شکستگی در مرز افق‌ها بر اثر گردش یخ. این نمونه از اثرات گردش یخ در عصر یخ‌بندان پلیستوسن است. به احتمال بسیار زیاد این خاک در زیردره توریل قرار می‌گرفته است. این خاک در مجارستان قرار داشته که یخ‌بندان دایمی دیگر وجود ندارد و امروزه در زیر یک مولی سول که از مواد سیلتی با (لس) ایجاد شده است قرار دارد. نقطه‌های گرد سیاه حفره‌های ایجاد شده به وسیله‌ی جانوران است که پر شده است و به آن کروتوینا^۱ گفته می‌شود (بخش ۱۴-۲ را مطالعه کنید) عکس دارای ۶۰ سانتی متر عرض است.

توزیع و استفاده

جلی سول‌ها ۱۱ میلیون کیلومتر مربع و یا $\frac{8}{6}$ درصد سطح زمین را پوشانده‌اند. حدود ۸ میلیون کیلومتر مربع در روسیه‌ی شمالی و حدود ۴ میلیون کیلومتر مربع در کانادا و آلاسکا قرار دارد و اکثر سال در زیر برف و یخ می‌باشند، اکثر جلی سول‌ها دارای پوشش توندرا بوده که از جلبک‌ها، چمن‌ها و بوته‌های کم ارتفاع که در طول تابستان کوتاه رشد می‌کنند، تشکیل شده است، اراضی وسیعی از جلی سول‌ها از باتلاق‌ها تشکیل شده است که بعضی آن‌ها بر روی لایه‌های یخ‌زده و یا یخ‌زده آب شناور می‌باشند و میلیون‌ها گوزن آمریکایی^۲، گوزن شمالی^۳، و گاو شمالی^۴ بر روی این پوشش در تابستان زندگی می‌کنند و سپس در ماه‌های سرد به جنگل‌های سردسیر^۵ مهاجرت می‌کنند. بسیاری از باتلاق‌ها و آبگیرها به عنوان محل آشیانه‌سازی برای پرندگان مورد استفاده قرار می‌گیرد. که از ابرهای ضخیم مگس‌گزنده و پشه‌ها تغذیه می‌کنند. جمعیت انسانی در این محیط ناسازگار اندک است.

جلی سول‌ها مسایل خاصی را در طرح‌های ساختمان‌سازی ایجاد می‌کنند. بسیاری از هیستل‌ها بسیار مرطوب بوده و دارای قدرت تحمل بار کمی برای نگهداری جاده‌ها و ساختمان‌ها می‌باشند. یخ‌بندان دایمی در بعضی جلی سول‌ها در صورت به هم خوردن ناپایدار می‌باشد و در نتیجه لوله‌ها و خطوطی که از عرض آلاسکا عبور کرده‌اند به جای این که دفن شوند باید بر روی خرپا نصب شوند. اگر لوله‌ها در تماس با خاک باشند، حرارت ناشی از جریان نفت در لوله سبب ذوب شدن لایه یخی و نشست خاک و شکسته شدن لوله و هدر رفت نفت می‌گردد. اراضی محدودی از جلی سول‌ها برای کشاورزی مورد استفاده می‌باشند. به خاطر فصل رشد بسیار کوتاه در عرض‌های بسیار شمالی، میزان تابش خورشیدی (به استثنای ماه‌های گرم تابستان) کم و شرایط ماندابی در اکثر جلی سول‌ها که یخ‌بندان مانع زه‌کشی داخلی در طول ماه‌های ذوب یخ در تابستان است، توان تولید جلی سول‌ها پایین است.

¹ - Crotovinas

² - Caribov

³ - Reindeer

⁴ - Muskox

⁵ - Boreal forest



شکل ۱۳-۳ یک جلی سول با اپی پدون هیستیک و یخ‌بندان. در این هیستل در ماه ژوئیه در آلاسکا عکس‌برداری شده است. مقیاس بر حسب سانتی متر است.

۳-۹ رسته هیستوسول‌ها (خاک‌های آلی، بدون یخ‌بندان دایمی)

شامل زیرراسته‌های Fibrists (الیاف گیاهی آشکار است)، Folists (تراکم برگ‌ها)، Hemists (بخشی از الیاف تجزیه شده است) و Saprist (الیاف گیاهی آشکار نیست)، می‌باشد.

هیستوسول‌ها خاک‌هایی می‌باشند که به‌خاطر محیط غیرهوازی که در آن تشکیل شده‌اند کمتر تحت تکامل خاک‌رخ قرار گرفته‌اند. فرایند اصلی و آشکار خاک‌سازی در هیستوسول‌ها تراکم ماده‌ی آلی نسبتاً تجزیه‌شده بدون یخ‌بندان دایمی می‌باشد (وجود یخ‌بندان دایمی سبب می‌شود که خاک در زیرراسته هیستل در راسته‌ی جلی سول قرار گیرد). هیستوسول‌ها از یک یا چند لایه‌ی ضخیم ماده‌ی آلی در خاک تشکیل شده‌اند. معمولاً هیستوسول‌ها دارای خاک‌های آلی در نصف بیشتر ۸۰ سانتی متری خاک فوقانی (تابلو رنگی ۱۶) و یا در $\frac{2}{3}$ لایه‌ی فوقانی بر روی سنگ‌های کم عمق می‌باشند.

اگر چه همه‌ی مناطق مرطوب دارای هیستوسول نمی‌باشند تمام هیستوسول‌ها (غیر از فولیست‌ها) به‌طور شاخص در محیط‌های اشباع از آب تشکیل می‌گردند آن‌ها می‌توانند در هر اقلیم از استوا تا مناطق یخ‌بندان دایمی، که گیاهان بتوانند رشد داشته باشند پیدا می‌شوند اما آن‌ها در اقلیم سرد تا حد یخ‌بندان دایمی غالب می‌باشند. تشکیل و تفکیک افق‌ها بیشتر بر اثر نوع پوشش گیاهی و بقایای آن‌ها در مقایسه با جابه‌جایی و تراکم مواد در داخل خاک‌رخ می‌باشد. رسوبات آلی در مرداب‌ها و باتلاق‌ها که محل مناسب برای رشد گیاهان آب‌دوست مانند گیاهان مردابی، لول‌ها، جگن‌ها، نی‌ها، خزه‌ها و بوته‌ها و حتی درختان می‌باشد تراکم می‌یابند. نسل‌ها به‌دنبال نسل‌ها بقایای این گیاهان در آب مدفون شده و به‌دلیل کمبود اکسیژن از اکسایش آن‌ها جلوگیری و بنابراین به‌صورت نسبتاً دست‌نخورده باقی مانده‌اند. (شکل ۲۳-۱).

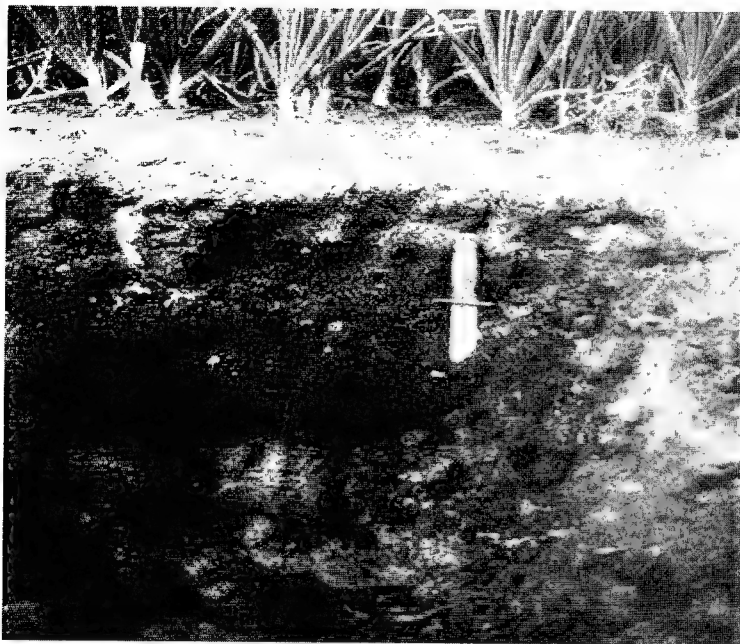
به‌دلیل میزان ماده‌ی آلی زیاد، هیستوسول‌ها معمولاً دارای رنگ سیاه تا قهوه‌ای تیره می‌باشند. آن‌ها در هنگام خشک‌بودن بسیار سبک بوده و چگالی آن‌ها ۱۰ تا ۲۰ درصد خاک‌های معدنی است. هیستوسول‌ها دارای ظرفیت نگهداری آب بالایی بر حسب درصد جرمی می‌باشند درحالی‌که خاک‌های معدنی حدود ۲۰ تا ۴۰ درصد وزن خود آب جذب می‌کنند یک هیستوسول تحت کشت و کار ۲۰۰ تا ۴۰۰ درصد وزن خشک خود آب جذب می‌کند به‌خاطر وزن مخصوص اندک خاک‌های آلی (چگالی حجمی کم) این خاک‌ها بر اساس حجم. آب بیشتری از خاک‌های معدنی جذب نکرده و مقدار آب جذب شده به‌وسیله‌ی آن‌ها بر اساس واحد حجم و یا در هکتار همانند یک خاک معدنی خوب می‌باشد.

توزیع و استفاده

گرچه این رده حدود ۱ درصد از سطح اراضی دنیا را اشغال کرده‌است، هیستوسول‌ها و یا پیت‌زارها اراضی عمده‌ای در مناطق سرد و مرطوب آلاسکا، کانادا، فنلاند و روسیه و همین‌طور اراضی مردابی مانند ایسلند را شامل می‌شوند. از سطح ۲۰۰ میلیون هکتار اراضی هیستوسول حدود ۷/۵ میلیون هکتار در قاره آمریکا یافت می‌شود. که ۲/۴ این اراضی در مناطق یخچالی مانند ویسکانسین، مینی‌سوتا، نیویورک و میشیگان قرار دارند (شکل ۱۴-۳ را مشاهده کنید). سایر مناطق پیت‌زار آمریکا (حدود ۴/۱) در اراضی نزدیک ساحل مانند باتلاق‌ها و مرداب‌ها در فلوریدا، بسترهای تیزاری کالیفرنیا و مناطق آب گرفته مشابه در لوژیانا و دریاچه‌های جزر و مدی در ایالات واقع در اطلس میانی قرار گرفته‌اند.

به خاطر این که نقش بوم‌شناختی اراضی مردابی کمتر مورد توجه بوده است (و یا به‌وسیله‌ی قانون حفاظت نشده است) بیشتر از ۵۰ درصد اراضی مرطوب اولیه در آمریکا برای استفاده کشاورزی و دیگر کاربری‌ها به‌خصوص سبزی‌کاری و تولید گل زه‌کشی شده است. بعضی از هیستوسول‌ها اراضی بسیار پرتولید را شامل می‌باشند اما سرشت مواد آلی نیازمند دادن آهک، کود و کشت‌وکار و زه‌کشی بسیار متفاوت با ۱۱ رده‌ی دیگر خاک می‌باشد.

اگر نباتات دیگری غیر از گیاهان مناطق مرطوب در این اراضی کشت شوند باید سطح ایستابی برای تهویه در منطقه ریشه نبات پایین برده شود. این عملیات درواقع سبب تغییر محیط خاک و اکسایش مواد آلی و از بین رفتن حدود ۵ سانتی‌متر خاک در هر سال در اقلیم گرم می‌شود (شکل ۲۷-۱۲) برای کاهش هدررفت منابع باارزش خاک و ممانعت از تشدید اثرات گلخانه‌ای غیر ضروری (بخش ۱۱-۱۲ را مطالعه کنید) سطح آب زیرزمینی در هیستوسول‌های زیر جنگل و کشاورزی باید از آنچه که برای تنفس ریشه ضرورت دارد پایین‌تر برده نشوند. راهکار پایدار دیگر برگشت دادن بعضی از اراضی هیستوسول به شرایط اراضی مرطوب اولیه آن‌ها می‌باشد (بخش ۸-۷ را مشاهده کنید). در بعضی جاه‌ها اراضی هیستوسول به خاطر پیت مورد حفاری قرار گرفته و پیت به‌عنوان، خاک‌پوش و پیت فیبری برای محیط‌های کشت گلدانی مورد خرید و فروش قرار می‌گیرد. رسوبات پیت به‌عنوان سوخت در بعضی از کشورها به‌خصوص روسیه در نیروگاه‌های متعدد مورد استفاده قرار می‌گیرند.



شکل ۱۴-۳ نیم‌رخ یک هیستوسول زه‌کشی‌شده در نیویورک که بر روی آن‌ها پیاز کشت شده است. خاک آلی بر روی مواد دریاچه‌ای (لاکسترن) معدنی قرار گرفته است.

۱۰-۳ اریدی سول‌ها (خاک‌های مناطق خشک)

شامل زیرراسته‌های Argids (دارای کانی‌های رسی)، Calcids (دارای کربنات)، Cambids (خاک‌های شاخص)، Cryids (خاک‌های مناطق سرد)، Durids (خاک‌های دارای سخت‌لایه)، Gypsids (خاک‌های دارای گچ) و Salids (خاک‌های شور) می‌باشد. اریدی سول‌ها خاک‌های خشک می‌باشند این رسته به‌استثنای آنتی‌سول‌ها در مقیاس جهانی سطح بیشتری را از سایر رده‌ها اشغال کرده است. کمبود آب خصوصیت عمده این خاک‌ها بوده و برای ۹۰ روز متوالی میزان رطوبت خاک برای رشد گیاه کافی نمی‌باشد. پوشش طبیعی این

خاک‌ها را بوته‌های بیابانی و علف‌های کوتاه تشکیل داده است. خصوصیات خاک به‌ویژه در افق‌های سطحی در اراضی لخت بین مناطق پوشش دار و خود مناطق پوشش دار دارای تفاوت آشکار می‌باشند (بخش ۱۴-۲ را مطالعه کنید).

مشخصه اریدی‌سول‌ها وجود یک اپی‌پدون اکریک است که معمولاً دارای رنگ روشن و مواد آلی کم می‌باشد (تابلو رنگی ۳) فرایند تشکیل خاک در اریدی‌سول‌ها شامل توزیع مجدد مواد محلول است اما به خاطر نبود آب برای آبشویی کامل آن‌ها تراکم بعدی آن‌ها به مقدار کمتر در خاک‌رخ می‌باشد. این خاک‌ها ممکن است دارای افق تراکم کربنات کلسیم (افق کلسیک)، گچ (افق جیسیک) نمک‌های محلول (افق سالیک) و یا سدیم قابل تبادل (افق ناتریک) باشند. در تحت شرایط خاصی کربنات‌ها ممکن است به صورت سیمانی ذرات خاک و مواد درشت را در خاک‌رخ به هم چسبانده و لایه سختی را به اسم پتروکلسیک ایجاد کنند (شکل ۱۵-۳) این سخت لایه از رشد ریشه نبات ممانعت کرده و هزینه پی‌کنی ساختمان‌ها را بالا می‌برد.

بعضی از اریدی‌سول‌ها (ارجیدها) دارای افق ارجلیک هستند که احتمالاً در طی اقلیم مرطوب‌تر که مدت‌ها قبل در بسیاری از اراضی کویری امروزی غالب بوده است ایجاد شده‌اند. با گذشت زمان و افزایش کربنات‌های موجود در گرد و غبار آهکی و سایر منابع، بسیاری از افق‌های ارجلیک به وسیله کربنات‌ها در بر گرفته شده‌اند (کلسیدها). در اراضی مرتفع‌تر که در معرض فرسایش می‌باشند امکان تشکیل افق ارجلیک ضعیف بوده و خاک‌های غالب اکثراً کمبیدها (اریدی‌سول‌ها با افق زیرزمینی ضعیف کمبیک B) هستند.

در خاک‌های سنگ‌ریزه‌دار، فرسایش ممکن است تمام ذرات ریز را از لایه‌های سطحی جدا کرده و لایه‌ای از قلوه‌سنگ‌های گرد شده به وسیله باد را بر جای بگذارد که به آن سنگ‌فرش بیابانی گفته می‌شود (شکل ۱۵-۳ را مشاهده کنید) سطوح قلوه‌سنگ‌های سنگ‌فرش بیابانی دارای لایه براق است که به آن جلای بیابان گفته می‌شود که به نظر می‌رسد به وسیله جلبک‌هایی ایجاد می‌شوند که آهن و منگنز را از کانی خارج کرده و یک پوشش اکسیدی بر روی قلوه‌سنگ‌ها به جای می‌گذارند.

لایه‌های خاک به جز در مواردی که آبیاری می‌شوند و یا آب زیرزمینی وجود دارد برای مدت کوتاهی از سال مرطوب می‌باشند این دوره‌های کوتاه مرطوب ممکن است برای رشد بوته‌های سازگار بیابانی و گیاهان یکساله کافی باشد، اما برای تولید محصولات زراعی بسنده نیست. اگر آب زیرزمینی در نزدیکی سطح خاک باشد نمک‌های محلول ممکن است در لایه‌های بالایی چنان تراکم یابند که اکثر محصولات کشاورزی نتوانند آن‌را تحمل کنند.

توزیع اریدی‌سول‌ها و کاربرد آن‌ها

حدود ۱۲٪ سطح اراضی در جهان و ۹٪ در آمریکا تحت اریدی‌سول طبقه‌بندی شده‌اند آن‌ها عمدتاً در اراضی عمده در بخش غربی کشور آمریکا غالب می‌باشد. سطح بزرگی از اریدی‌سول‌ها تحت نام ارجید (از کلمه‌ی لاتین Argilla، به معنی رس) که دارای افق تجمع رس می‌باشد بخش اعظم ایالت‌های کالیفرنیا، نوادا، آریزونا و نیومکزیکوی مرکزی را تسخیر کرده‌است (پیوست الف). ارجیده‌ها همچنین به طرف عرض جغرافیایی پایین تا داخل مکزیک شمالی پیش‌روی کرده است مناطق کوچک‌تری از کمبیدها (خاک‌های اریدی‌سول بدون افق ارجلیک و یا ناتریک) در ایالت‌های متعدد در غرب آمریکا وجود دارند (تابلو رنگی ۳ را مشاهده کنید).

اراضی وسیعی از اریدی‌سول‌ها در بیابان صحرا در آفریقا، بیابان گبی و تکلماکان در چین و بیابان ترکمنستان در کشور اتحاد جماهیر شوروی سابق وجود دارند. بیشتر اراضی استرالیای جنوبی و استرالیای مرکزی اریدی‌سول می‌باشند. این خاک‌ها در آرژانتین جنوبی، آفریقای جنوب غربی، پاکستان و کشورهای خاورمیانه نیز وجود دارند.

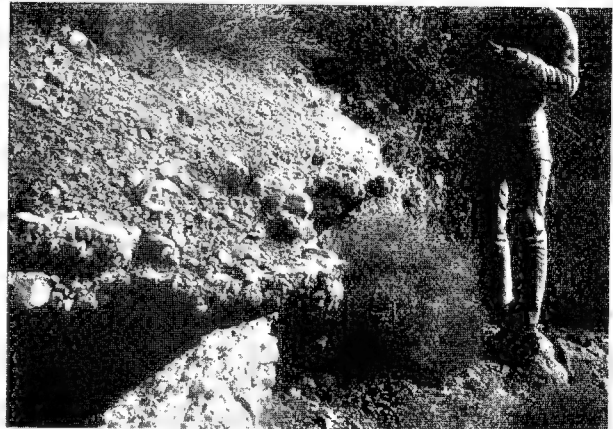
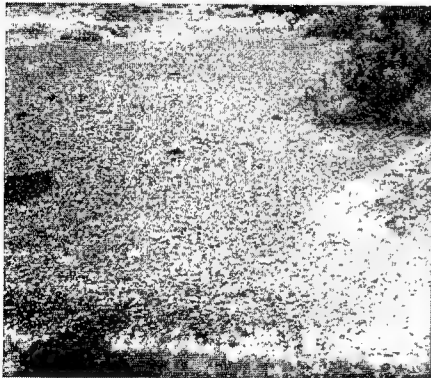
بدون آبیاری اریدی‌سول‌ها برای کشت نباتات زراعی مناسب نمی‌باشند و در بعضی از مناطق برای چرای گوسفند و بز مورد استفاده قرار می‌گیرند، اما تولید در واحد سطح اراضی پایین است. چرای بی‌رویه اریدی‌سول‌ها سبب افزایش عدم تجانس در خاک‌ها و پوشش گیاهی می‌شود. حیوانات پوشش نسبتاً یکنواخت گیاهان خوش‌خوراک را مورد چرا قرار می‌دهند، گیاهان نامرغوب مورد چرا قرار نرفته از نظر رقابت برتری می‌یابند. بوته‌های پراکنده با علف‌های مرتعی برای کسب آب و عناصر غذایی رقابت می‌کنند و اراضی که زمانی تحت پوشش مرتع بودند لخت می‌شوند و خاک‌ها در بین بوته‌های پراکنده در معرض فرسایش بادهای بیابانی و رگبارها قرار می‌گیرند. بیابانی شدن اراضی نیمه صحرایی در آفریقا و آمریکای غربی شواهدی براین تخریب می‌باشند (شکل ۱۶-۳).

گیاهان خشکی‌پسند^۱ مانند جوجوبا^۲ برای تولید کالاهای مورد مصرف صنایع مانند روغن و کائوچو در اریدی‌سول‌ها کاشته می‌شوند. در صورت وجود آب برای آبیاری و کودهای شیمیایی، خاک‌های اریدی‌سول می‌توانند بسیار پرتولید باشند. دره‌های مورد آبیاری در مناطق

^۱ - Xerophytic plans

^۲ - Jojoba

خشک دارای بالاترین توان تولید در جهان می‌باشند گرچه برای جلوگیری از تراکم نمک‌های محلول باید به‌دقت تحت مدیریت قرار گیرند (فصل ۱۰ را مشاهده کنید).



شکل ۱۵-۳ دو چهره که شاخص بعضی از اریدی سول‌ها می‌باشند (چپ) قلوه‌سنگ‌های گردشده، به‌وسیله‌ی باد سبب ایجاد سنگفرش بیابانی نموده است. (راست) یک افق پترو کلسیک سیمانی‌شده به‌وسیله‌ی کربنات کلسیم.

۱۱-۳ ورتی سول‌ها (رس‌های منبسط‌شونده‌ی سیاه رنگ)

شامل زیرراسته‌های Aquerts (خیس)، Cryerts (سرد)، Torrerts (گرم و خشک)، Uderts (مرطوب)، Usterts (خشک مرطوب)، و Xererts (تابستان‌های خشک و زمستان‌های مرطوب) می‌باشد.

فرایند اصلی موثر در تکامل خاک در ورتی سول‌ها انقباض و انبساط رس به‌دلیل وقوع دوره‌های خشک و مرطوب متناوب می‌باشد. ورتی سول‌ها دارای مقدار زیادی ($> 30\%$) از رس‌های چسبنده دارای خصوصیت انقباض و انبساط می‌باشد که تا عمق یک متر و بیشتر گسترش یافته‌اند. اکثر ورتی سول‌ها تیره‌رنگ، حتی سیاه می‌باشند، که تا عمق ۱ متر و بیشتر ادامه دارد. (تابلو رنگی ۱۲). هرچند بر خلاف اکثر خاک‌ها، رنگ تیره در ورتی سول‌ها ضرورتاً بیانگر مقدار ماده‌ی آلی بالا نمی‌باشد. ماده‌ی آلی ورتی سول‌های تیره‌رنگ به‌طور شاخص از مقدار بالای ۶-۵ درصد تا مقدار اندک ۱ درصد متغیر است.

ورتی سول‌ها عمدتاً از سنگ آهک، بازالت و یا سایر مواد مادری سرشار از کلسیم و منیزیم تشکیل شده‌اند در آفریقای شرقی آن‌ها در زمین‌نمای اراضی پست که کلسیم و منیزیم آبشویی شده از اراضی اطراف را جمع می‌کنند تشکیل می‌شوند. حضور این کاتیون‌ها ایجاد رس‌های منبسط‌شونده را تقویت می‌کنند (بخش ۶-۸ را مشاهده کنید).



شکل ۱۶-۳ چرای احشام در خاک‌های اریدی سول گرچه امکان‌پذیر است اما اریدی سول مورد چرا قرار گرفته به‌طور بی‌رویه در معرض فرسایش باد و آب قرار خواهند گرفت. این خندق در طول باران‌های نادر اما سنگین در منطقه اریزونا ایجاد گردیده است که زمانی از گیاهان بیابانی متراکم مانند کیسه‌داران قلیایی^۱ و پیچک^۲ پوشیده شده بود اما در اثر چرای بی‌رویه نابود شده‌اند.

^۱ - Alkali saccation
^۲ - Uine mesquib

ورتنی سول‌ها عمدتاً در مناطق نیمه مرطوب و نیمه‌خشک در مناطق گرم یافت می‌شوند اما تعداد خیلی (کریترها) در مناطقی که متوسط دمای سالانه به صفر می‌رسد (شکل ۷-۳ را مشاهده کنید) نیز یافت وجود دارند. پوشش بومی ورتنی سول‌ها معمولاً چمن‌زار می‌باشد. ورتنی سول‌ها معمولاً در اقلیمی یافت می‌شوند که دوره‌های خشک به مدت چند ماه دوام دارند. در فصول خشک رس انقباض یافته و سبب ایجاد ترک‌های عمیق و عریض در خاک‌ها می‌شود که چهره‌ی مشخصه‌ی این خاک‌ها می‌باشد (شکل ۱۷-۳). خاک سطحی معمولاً دارای ساختمان خاکدانه‌ای بوده که از آن‌ها مقدار زیادی به‌داخل ترک‌ها ریزش می‌کنند و سبب زیروروشدن نسبی خاک (شکل ۱۸-۳) می‌شوند. این فرایند با واژه‌ی زیروروشدن^۱ که راسته نام خود را از آن گرفته است تطابق دارد. وقتی که باران می‌آید آب وارد ترک‌های بزرگ شده و سبب مرطوب‌گشتن رس در طبقات زیرین و انبساط آن‌ها می‌شود. انبساط و انقباض مکرر رس‌های زیرزمینی سبب ایجاد یک نوع حرکت غیرقابل مشاهده کند رفت‌وبرگشت در توده‌های عظیم خاک می‌گردد. با انبساط خاک عمقی قطعانی از خاک از توده جدا شده و بر روی هم‌دیگر با فشار ساییده می‌شوند که سبب ایجاد یک سطح جهش‌دار مورب براق به اسم اسلیکن سایدز^۲ (شکل ۱۹-۳) گردد. نهایتاً این حرکت رفت و برگشتی ممکن است گودی‌های کاسه مانند را با خاک‌ریزهای نسبتاً عمیق ایجاد می‌کنند که به وسیله‌ی مناطق نسبتاً برآمده احاطه شده که در آن‌ها تکامل خاک‌ریز اندک و مواد مادری در سطح باقی می‌مانند (شکل ۱۸-۳ را مشاهده کنید). به ریزبندگی‌ها^۳ و ریزچاله‌های^۴ باقیمانده در سطح خاک گلیگایی^۵ گفته می‌شود و معمولاً در خاک‌های ورتنی سول که تحت خاک‌ورزی قرار نگرفته‌اند قابل مشاهده می‌باشند.



شکل ۱۷-۳ ترک‌های گشاد در فصول خشک در لایه‌های سطحی این خاک ورتنی سول در هندوستان تشکیل شده است. مواد سطحی می‌توانند از توده‌ی خاک جدا شده و داخل این ترک‌ها گردیده و به عمق حرکت کنند. وقتی بارندگی شروع می‌شود آب می‌تواند به سرعت به افق‌های پایین حرکت کند. اما ترک‌ها به‌سرعت مسدود شده و سبب غیرقابل نفوذ شدن خاک برای آب می‌شوند.

توزیع و نحوه‌ی استفاده از ورتنی سول‌ها

در مقیاس جهانی، ورتنی سول‌ها حدود ۲/۵ درصد سطح خاک‌ها را اشغال کرده‌اند. در هندوستان، اتیوپی، سودان و استرالایای شمالی و شرقی مناطق بزرگی از ورتنی سول یافت می‌شوند (پشت‌جلد را نگاه کنید). مناطق کوچک‌تری در جنوب صحرای آفریقا، مکزیک، ونزوئلا، بولیوی و پاراگوآ یافت می‌شوند. خاک‌های اخیر احتمالاً به‌خاطر دوام شرایط خشک در مدت زمان قابل ملاحظه‌ای برای بازماندن ترک‌های گشاد به مدت ۳ ماه و بیشتر در زیررده‌ی Usterts و Xererts قرار می‌گیرند.

¹ - Invert

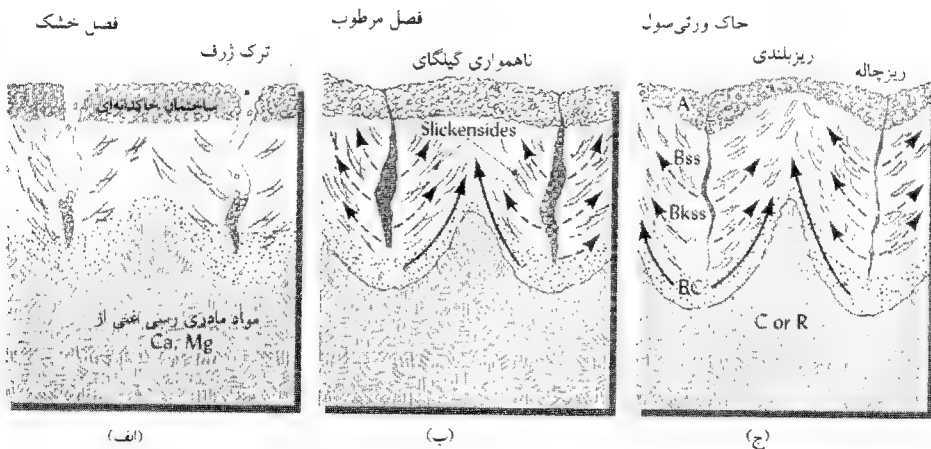
² - Slickenside

³ - Microheight

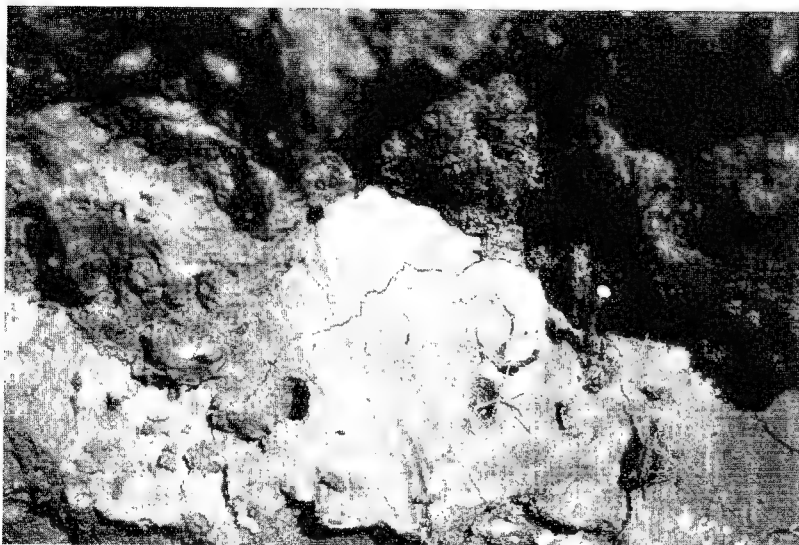
⁴ - Microlow

⁵ - Gilgai

مناطق کوچک متعدد اما مهمی از خاک‌های ورتی سول در آمریکا یافت می‌شود (شکل ۱۸-۳) آن‌ها کمتر از ۲ درصد اراضی را شامل می‌گردند. دو منطقه از اراضی مرطوب، یکی در می‌سی‌سی‌پی شرقی و آلابامای غربی که منطقه کمربند سیاه نامیده می‌شوند و دیگری در امتداد مرز جنوب شرقی تگزاس توزیع یافته‌اند. این خاک‌ها در زیر رده ادرت (مرطوب) قرار دارند، چه به دلیل شرایط رطوبتی آن‌ها از باقی ماندن ترک‌ها برای بیشتر از ۳ ماه ممانعت می‌کند.



شکل ۱۸-۳ ورتی سول‌ها دارای مقادیر زیادی رس‌های متورم شونده بوده و سبب ایجاد واحدهای ساختمانی گوه‌ای در افق‌های زیرین می‌شود. (الف) در طول فصل خشک ترک‌های بزرگ بر اثر انقباض رس در اثر خشک شدن به وجود می‌آیند. بعضی از ذرات خاکدانه‌ای سطحی بر اثر باد و یا حرکت حیوانات به داخل ترک‌ها ریزش می‌کنند و این عمل سبب مخلوط شدن نسبی و زیروروشدن افق‌ها می‌گردد. (ب) در طول فصول مرطوب آب ناشی از باران به داخل ترک‌ها فرو می‌ریزد و خاک را اول در نزدیک کف ترک‌ها و سپس تمام خاک‌رخ مرطوب می‌سازد. با جذب آب، رس منبسط شده و ترک‌ها بسته می‌شوند و سبب محبوس ماندن خاکدانه‌های جمع شده می‌گردد. افزایش حجم خاک سبب حرکت جانبی و فوقانی توده‌ی خاک می‌شود. خاک در بین مناطق ترک خورده بالا می‌آید. وقتی توده‌ی خاک زیرین در اثر فشار دچار تنش گردد، سطوح صاف براق و یا اسلیکن ساید تشکیل می‌شود. (ج) این فرایند سبب ایجاد یک خاک‌رخ ورتی سول می‌شود که به طور شاخص دارای گلیگای، ترک‌های بیش از ۱ متر عمق و اسلیکن سایدز در افق Bss می‌باشد. سخت دانه‌های کربنات کلسیم اغلب در افق Bkss تراکم می‌یابند.



شکل ۱۹-۳ نمونه‌ای از سطوح براق در ورتی سول‌ها. ساییده شدن قطعات بزرگ خاک بر روی همدیگر در عکس‌العمل به رس‌های منبسط‌شونده این ظاهر براق را به وجود آورده است. سخت‌دانه‌های سفید کانی‌های کربناته حاکی از وضعیت سازی بالای این خاک‌ها می‌باشد.

دو منطقه‌ی دیگر ورتی سول‌ها در شرق منطقه‌ی مرکزی و تگزاس جنوبی که خاک‌ها خشک‌تر می‌باشند توزیع یافته است. از آن‌جاکه ترک‌ها برای مدت بیشتر از سه ماه در خاک‌های این مناطق باز باقی می‌مانند، خاک‌ها در تحت رده‌ی Usterts (از کلمه‌ی لاتین Ustus به معنی سوخته شده) قرار می‌گیرند که مشخصه‌ی اراضی آن‌ها تابستان‌های گرم خشک می‌باشد. منطقه‌ای از کریپت‌ها (از کلمه‌ی Kros به معنی سرد) در داکرتاها و ساسکا جوان دیده می‌شود. زیر رده‌ی زرت (از کلمه‌ی Xeros به معنی خشک) در کالیفرنیا قرار گرفته است.

به‌خاطر خصوصیات انقباض و انبساط شدید آن‌ها (شکل ۲۰-۸)، این خاک‌ها برای ایجاد هر نوع شالوده‌ی ساختمانی و بستر جاده‌ها مناسب نمی‌باشند. آن‌ها در حالت تر چسبنده و شکل‌پذیر بوده و در حالت خشک سخت می‌باشند به این دلیل طول مدت زمانی که این خاک‌ها می‌توانند مورد شخم و عملیات خاک‌ورزی قرار گیرند بسیار محدود است و سبب می‌شود که عملیات کشاورزی در آن‌ها مشکل انجام گیرد. بعضی از زراعتین به این خاک‌ها، خاک‌های ۲۴ ساعته می‌گویند زیرا آن‌ها برای شخم در یک روز بسیار مرطوب و در روز بعد خیلی خشک می‌باشند.

در این خاک‌ها حتی وقتی میزان رطوبت خاک در حد بهینه باشد میزان انرژی لازم برای خاک‌ورزی زیاد است. بنابراین به‌جز مواردی که تجهیزات سنگین برای انجام خاک‌ورزی مورد استفاده قرار گیرند، سرعت انجام عملیات کند است و مقدار زمینی که زارع در مقایسه با خاک سایر رسته‌ها می‌تواند شخم بزند بسیار کمتر می‌باشد. در مناطقی مانند هندوستان و سودان که حیوانات کم تحرک و نیروی انسان برای عملیات خاک‌ورزی مورد استفاده می‌باشد زراعتین نمی‌توانند عملیات خاک‌ورزی را به‌موقع انجام دهند، بنابراین مجبور به استفاده از ادوات کوچک خاک‌ورزی می‌باشند که حیوانات بتواند آن‌را از داخل خاک سنگین حرکت دهند.

تحقیقات جدید مشخص کرده است که مناطق گسترده‌ای از رتی‌سول‌ها در مناطق گرمسیر می‌توانند با اعمال عملیات پیشرفته سبب استحصال عملکرد زیادی در محصولات کشاورزی گردند. خاک‌ها در این رسته به تخریب‌های فیزیکی و فرسایش خاک (به‌رغم شیب اصلی اندک آن‌ها) بسیار حساس می‌باشند و عملیات حفاظتی و یا برگشت دادن آن‌ها به زیر مرتع گزینه‌های مهمی هستند که باید مورد ملاحظه قرار گیرند.

۱۲-۳ مولی‌سول‌ها (خاک‌های سیاه رنگ نرم چمن‌زارها)

شامل زیررسته‌های Albolls (دارای افق البیک)، Aquoll (مرطوب)، Cryolls (خیلی سرد)، Rendolls (کربناته)، Udolls (مرطوب)، Ustolls (مرطوب / خشک)، Xerolls (تابستان خشک، زمستان مرطوب) می‌باشند.

فرایند اصلی در تشکیل مولی‌سول‌ها تراکم ماده‌ی آلی سرشار از کلسیم می‌باشد که عمدتاً از نظام ریشه‌ی متراکم گیاهان چمنی در تشکیل یک افق سطحی ضخیم نرم مولیک که مشخصه‌ی این رده است حاصل می‌شود (تابلو رنگی شماره ۸) این افق سطحی سرشار از هموس اغلب دارای عمق ۸۰-۶۰ سانتی‌متر بوده و سرشار از کلسیم و منیزیم می‌باشد. ظرفیت تبادل کاتیونی آن بیشتر از ۵۰ درصد به‌وسیله‌ی کاتیون‌های بازی (K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) اشباع شده است. مولی‌سول‌ها در مناطق مرطوب معمولاً دارای افق مالیک با درصد ماده‌ی آلی بیشتر، رنگ تیره‌تر و ضخامت بیشتر از رژیم‌هایی کم رطوبتی می‌باشند. (بخش ۱۰-۱۲ را مشاهده کنید).

افق سطحی معمولاً دارای ساختمان دانه‌دانه‌ای و یا اسفنجی بوده که حاصل ماده‌ی آلی و رس‌های متورم شونده می‌باشد. خاکدانه‌ها وقتی خاک خشک است سخت نمی‌باشند و این کاربرد نام مولی‌سول را که به‌معنی نرم است، توجیه می‌کند (جدول ۴-۳). علاوه بر این‌ها پدون مالیک، مولی‌سول‌ها ممکن است دارای افق‌های تحت الارضی ارجلیک، ناتریک و یا آلیک باشند، اما نمی‌توانند دارای افق اکسیک و اسپودیک باشند.

بیشتر مولی‌سول‌ها در زیر پوشش علفی تکامل‌یافته‌اند (شکل ۲۰-۳). خاک‌های چمن‌زارهای مرکزی آمریکا که در بین اریدی‌سول‌ها در غرب و الفی‌سول‌ها در شرق قرار گرفته‌اند هسته‌ی مرکزی این رده را تشکیل می‌دهند، هرچند تعداد معدودی از خاک‌ها که در زیر پوشش جنگلی (عمدتاً در فروافتادگی‌ها) بوده و دارای افق مالیک می‌باشند جزء مولی‌سول‌ها به حساب می‌آیند.

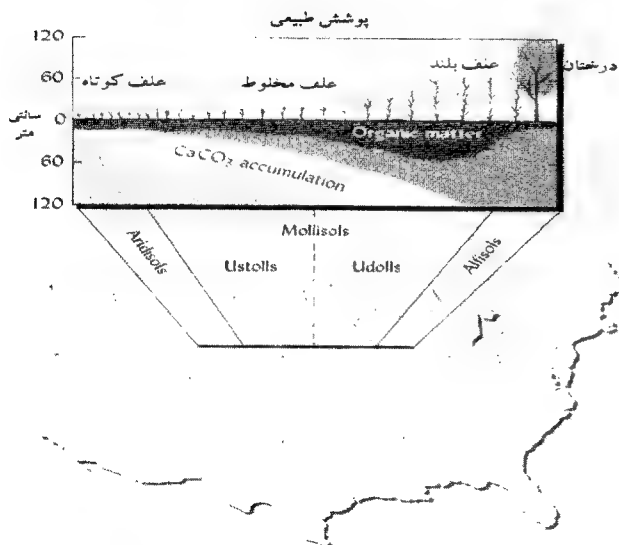
توزیع و طرز استفاده

مولی‌سول‌ها در آمریکا سطح بیشتری را نسبت به سایر رسته‌ها پوشش داده است (حدود ۲۲ درصد) جدول ۵-۳ را مشاهده کنید. مولی‌سول‌ها در ایالت‌های واقع در دشت‌های بزرگ آمریکا و ایلی‌نوی غالب می‌باشند (شکل ۸-۳). هنگامی که رطوبت خاک عامل محدودکننده نیست اودول‌ها یافت می‌شوند. این خاک‌ها با مولی‌سول‌های مرطوب مجاور که آکول نامیده می‌شوند همراه می‌باشند. منطقه‌ای که شاخص استول‌ها (در طول تابستان به‌طور متناوب خشک می‌باشد) است از مانی‌توبا^۱ و ساس‌کاجوان^۲ در کانادا تا تگزاس جنوبی گسترش یافته است. دورتر در غرب مناطق وسیعی از زروول‌ها (رژیم رطوبتی زیریک) وجود دارند. اراضی معمول اودول‌ها و استول‌ها را

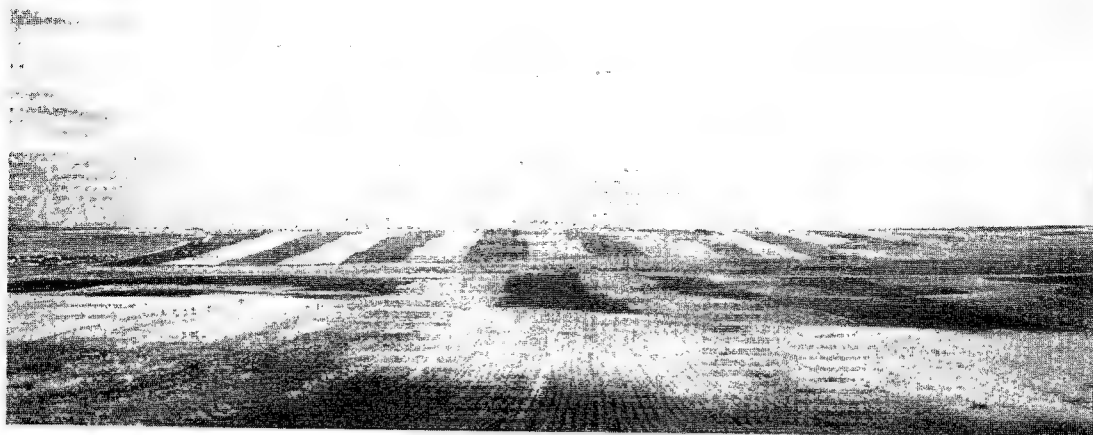
^۱ - Manitoba

^۲ - Saskatchewan

می‌توان در شکل ۲۱-۳ مشاهده کرد. حفاظت آب خاک یک مسئله‌ی عمده به‌خصوص در مدیریت استول‌ها می‌باشد. دو خاکرخ مولی‌سول در شکل ۲۲-۳ آمده است.

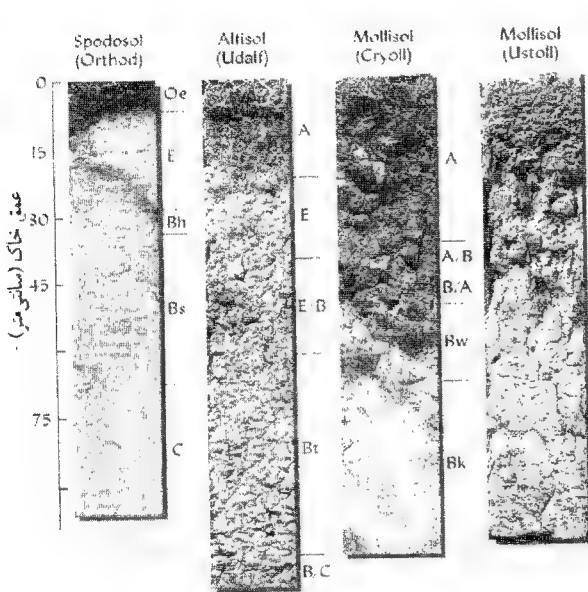


شکل ۲۰-۳ رابطه‌ی بین پوشش طبیعی علف‌زار و رده‌های خاص خاک که به‌صورت یک نمودار برای بررسی از قلمرو شمال آمریکای مرکزی آمده است. عامل تعیین‌کننده البته اقلیم است. توجه داشته باشید که هرچه از مناطق خشک در غرب به طرف مناطق مرطوب‌تر در شرق که خاک‌های علف‌زار حاکم است پیشروی کنیم عمق افق ماده‌ی آلی و به‌همین ترتیب عمق لایه کربنات کلسیم بیشتر خواهد شد. الفی‌سول‌ها در تحت پوشش علف‌زارها نیز تکامل می‌یابند. اما اغلب در زیر جنگل واقع شده و دارای افق‌های روشن‌تری می‌باشند.



شکل ۲۱-۳ زمین‌نمای اراضی شاخص که به‌وسیله‌ی استول‌ها (بالا) و ادول‌ها (زیر) غالب می‌باشند. این خاک‌های حاصلخیز اکثر غذا و علوفه را در آمریکا تولید می‌کنند.

گسترده‌ترین اراضی مولی‌سول درخارج از آمریکا در قلب کشورهای قزاقستان، اکراین و روسیه از شرق به غرب گسترش یافته است. دیگر اراضی مولی‌سول در مغولستان، چین شمالی، آرژانتین شمالی، پاراگوئه قرار گرفته‌اند. گرچه مولی‌سول‌ها فقط ۷ درصد مساحت خاک‌های جهان را اشغال کرده‌اند. اما به‌خاطر حاصلخیزی طبیعی آن‌ها درصد بیشتری از تولید محصولات کشاورزی را به‌عهده دارند. در آمریکا تلاش‌هایی برای حفظ بقایای محدود بوم‌سامان علفزارهای وسیع و گسترده سابق در حال انجام است. به‌خاطر حاصلخیزی طبیعی بالای مولی‌سول‌ها، که آن‌ها را در جرگه پرتولیدترین خاک‌های جهان قرار می‌دهد، مولی‌سول‌های اندکی در نقاطی که بارندگی برای تولید محصولات کافی است کشت نشده باقی مانده‌اند. وقتی این مولی‌سول‌ها اول بار آباد شده و بیزیر کشت برده‌شدند اکثر ماده‌ی آلی طبیعی آن‌ها اکسیده شده و سبب آزادشدن نیتروژن و سایر عناصر غذایی به‌مقدار کافی برای تولید عملکردهای بالا، حتی بدون مصرف کود گردید. بعد از یک قرن کشت‌وکار مولی‌سول‌ها هنوز در بین پرتولیدترین خاک‌ها قرار دارند، گرچه مصرف کود در آن‌ها معمولاً لازم می‌باشد. کشت‌وکار مداوم در محصولات ردیفی سبب تخریب ساختمان خاک و فرسایش آن در مناطق شیب‌دار گردیده‌است.



شکل ۲۲-۳ منولیت خاک‌رخی‌هایی که معرف سه راسته‌ی خاک می‌باشند. اسامی زیرراسته‌ها در بین دو کمان آمده است. اسامی افق‌های توارثی (نه تشخیصی) نیز داده شده است. توجه کنید که افق اسپودیک در اسپدوسول به‌واسطه‌ی تراکم هموس (Bh) و آهن ((Bs)) مشخص شده‌اند. در الفی‌سول افق آبشویی رس (Bt) و در مولی‌سول افق ساختمانی B یا (Bw) وجود دارد. افق ضخیم سطحی تیره (افق مالیک سطحی) هر دو مولی‌سول را مشخص می‌سازد. توجه کنید منطقه تراکم کلسیم (Bk) در زیر رده‌ی استول که در اقلیم خشک تکامل یافته نزدیک سطح خاک قرار دارد. افق E/B دارای خصوصیات هر دو افق E و B می‌باشد.

۱۳-۳ الفی‌سول‌ها (با افق ارجلیک و یا ناتریک، و درصد اشباع بازی متوسط تا زیاد)

شامل زیرراسته‌های Aqualfs (خیس)، Cryalfs (سرد)، Udalfs (مرطوب)، Ustalfs (مرطوب / خشک) و Xeralfs (تابستان‌های خشک و زمستان‌های مرطوب) می‌باشند.

به‌نظر می‌رسد الفی‌سول‌ها بسیار شدیدتر از خاک‌هایی که قبلاً مورد بحث قرار گرفت ولی کمتر از اسپدوسول‌ها در معرض هوادیدگی قرار گرفته‌اند (مباحث زیر را مشاهده کنید). آن‌ها در مناطق سرد تا گرم مرطوب (شکل ۷-۳ را مشاهده کنید) یافت می‌شوند. اما در اقلیم نیمه‌خشک حاره‌ای و مدیترانه‌ای نیز وجود دارند. الفی‌سول‌ها اغلب در زیر جنگل‌های برگ‌ریزان بومی تکامل می‌یابند گرچه در کالیفرنیا و بخش‌هایی از آفریقا چمن‌زارهای ساوانا پوشش بومی آن‌ها می‌باشد.

الفی‌سول‌ها به‌وسیله‌ی افق تشخیصی زیرین که در آن رس‌های سیلیکاتی پراثر آبشویی از طبقه‌ی بالا تجمع یافته‌اند مشخص می‌شود (تابلو رنگی ۱ را مشاهده کنید). پوشش رسی و دیگر علایم حرکت رس در افقی مانند B وجود دارد (تابلو رنگی ۲۳ را مشاهده کنید). در الفی‌سول‌ها این افق سرشار از رس فقط به‌طور متوسط آبشویی شده و ۳۵٪ ظرفیت تبادل کاتیونی آن به‌وسیله‌ی کاتیون‌های تشکیل‌دهنده باز Ca^{2+} ، Mg^{2+} و غیره اشباع شده است. در اکثر الفی‌سول‌ها این افق به‌خاطر رس‌های سیلیکاتی ارجلیک نامیده می‌شود، در صورتی‌که علاوه بر تراکم رس، اگر این افق تشخیصی زیرین دارای بیشتر از ۱۵ درصد سدیم قابل تعویض و ساختمان منشوری و یا ستونی باشد (شکل ۱۱-۴ را مشاهده کنید) افق ناتریک نامیده می‌شود. در بعضی از الفی‌سول‌ها در مناطق نیمه مرطوب حاره‌ای افق تراکم رس افق کندیک^۱ نامیده می‌شود. زیرا رس دارای ظرفیت تبادل کاتیونی اندکی می‌باشد.

القی سول‌ها به ندرت دارای افق سطحی مالیک می‌باشند زیرا این خاک‌ها در زیرراسته ارجی‌ادول^۱ و سایر زیرراسته‌های رده‌های مولی‌سول که دارای افق ارجلیک هستند، قرار می‌گیرند. در عوض القی سول به‌طور شاخص دارای افق نسبتاً نازک سطحی اکریک خاکستری تا قهوه‌ای (نابلو رنگی ۱) و یا افق سطحی آمبریک می‌باشد. القی سول‌هایی که زیر درختان برگ‌ریزان معتدل تشکیل شده‌اند معمولاً دارای افق البیک (E) شسته شده بلافاصله در زیر افق A می‌باشد (شکل ۳-۲۲ و ۳-۲۳).

توزیع و طرز استفاده

حدود ۱۴ درصد مساحت اراضی آمریکا و ۱۰ درصد سطح جهان تحت راسته‌ی القی سول طبقه‌بندی شده است (جدول ۳-۶). القی سول‌ها به‌وسیله‌ی یدالف (رژیم یدیک به‌معنی مرطوب) در ایالت‌های اوهایو، میشیگان، ویسکانسین، مینی‌سوتا، پنسیلوانیا و نیویورک (شکل ۳-۸) و همین‌طور در چین مرکزی انگلستان، فرانسه، اروپای مرکزی و استرالیای جنوبی وجود دارند. مقدار قابل توجهی اراضی در زیر رده‌ی زرال‌ف در کالیفرنای مرکزی، استرالیای جنوب غربی، ایتالیا، اسپانیای مرکزی و پرتغال (شکل ۳-۲۳) یافت می‌شوند. کریال‌ف‌ها در منطقه‌ی کوه‌های راکی، کانادای جنوب مرکزی، شمال اروپا از بالتیک تا روسیه غربی و سیرری توزیع یافته‌اند. استال‌ف‌ها در مناطق با تابستان گرم مانند تگزاس و نیومکزیکو، مناطق جنوب‌صحرای آفریقا، برزیل شرقی، هندوستان شرقی و آسیای جنوب شرقی غالب می‌باشند. اکوال‌ف‌های مرطوب در فروافتادگی‌های مرطوب یافت می‌شوند.



شکل ۳-۲۳ یک زمین‌نما در جنوب کشور پرتغال که در آن زرال‌ف‌ها غالب می‌باشند. اکثر جنگل اولیه تراشیده شده و خاک‌ها را برای کشت غلات زمستانه و انگور شخم زده‌اند.

القی سول‌ها به‌طور کلی خاک‌های حاصلخیزی می‌باشند. رشد خوب درختان جنگلی سخت چوب و عملکرد محصولات زراعی وابسته به درصد اشباع بازی متوسط تا بالا، بافت مناسب و قرارگرفتن در مناطقی با بارندگی کافی (به‌استثنای زرال‌ف‌ها) حداقل در بخشی از سال برای رشد نبات می‌باشد. در ایالات متحده این خاک‌ها از نظر ظرفیت تولید دهی مشابه مولی‌سول‌ها و التی سول‌ها می‌باشند. بسیاری از القی سول‌ها به‌خصوص آن‌هایی که دارای بافت سبک‌تر (شنی‌تر) هستند در صورت از بین رفتن لاشبرگ بر روی آن‌ها به فرسایش آبی برآثر باران‌های سنگین بسیار حساس می‌باشند. القی سول‌ها در رژیم رطوبتی یودیک اسیدی بوده و نیازمند مواد اصلاح‌کننده‌ی سنگ آهک برای بسیاری از نباتات می‌باشند (فصل ۹ را مشاهده کنید).

۳-۱۴ التی سول‌ها (با افق ارجلیک و باز کم)

شامل زیر رده‌های Aquults (خیس)، Humults (هموس زیاد)، Udults (مرطوب)، Ustults (تناوب خشکی و رطوبت) و Xerults (تابستان‌های خشک و زمستان‌های مرطوب).

فرایند اصلی در تشکیل التی سول‌ها عبارت‌است از هوادیدگی کانی رس، جابه‌جایی رس‌ها برای تجمع در یک افق ارجلیک و یا کندیک و آبشویی کاتیون‌های تشکیل دهنده باز از خاک‌رخ. اکثر التی سول‌ها تحت شرایط مرطوب در اقلیم گرم حاره‌ای ایجاد شده‌اند. التی سول‌ها در سطح اراضی قدیمی معمولاً زیر پوشش جنگل ایجاد شده گرچه پوشش ساوانا و حتی پوشش باتلاقی نیز معمول می‌باشد.

¹ - Argiudolls

آنها معمولاً دارای یک افق سطحی اکریک و یا آمبریک بوده اما به وسیله یک افق B اسیدی مشخص می‌شوند که در آن کمتر از ۳۵ درصد از ظرفیت تبادل کاتیونی به وسیله کاتیون‌های بازی اشغال شده است. تراکم رس ممکن است به صورت یک افق ارچلیک بوده و یا اگر رس دارای فعالیت پایین باشد یک افق کاندیک را تشکیل دهد. در التی‌سول‌ها هم افق سطحی و هم افق زیرزمینی معمولاً اسیدی بوده و دارای عناصر غذایی اندک می‌باشد.

التی‌سول‌ها در مقایسه با التی‌سول‌ها بیشتر هوادیده و اسیدی می‌باشند اما از اسپدوسول‌ها کمتر اسیدی و از اکسی‌سول‌ها به مراتب کمتر هوادیده‌اند. به استثنای اعضاء مرطوب راسته، افق‌های زیرزمینی آنها اغلب از نظر رنگ قرمز و یا زرد بوده که دلالت بر تجمع اکسیدهای آهن دارد (تابلو رنگی ۱۱ را مشاهده کنید). التی‌سول‌های خاص که تحت نوسانات رطوبت ایجاد شده‌اند دارای لایه‌های متقوط سرشار از آهن می‌باشند که به آنها پلینتایت^۱ (تابلو رنگی ۱۵ را مشاهده کنید) گفته می‌شود. این مواد نرم بوده و مادامی که مرطوب باشند به آسانی می‌توانند حفاری گردند. پلینتایت وقتی در هوا خشک شود به طور غیرقابل برگشتی به صورت سنگ آهن سخت می‌شود، که عملاً برای کشت و کار بی‌فایده است. اما، می‌تواند برای ایجاد آجرهای محکم برای ساختمان‌سازی مورد استفاده قرار گیرد.

توزیع و استفاده از التی‌سول‌ها

حدود ۹ درصد از سطح کشور آمریکا و سطح جهان در رده‌ی التی‌سول طبقه‌بندی می‌شوند. اکثر خاک‌های بخش جنوب شرقی آمریکا در زیر رده اودولت (شکل ۸-۳ و ضمیمه الف را نگاه کنید) قرار می‌گیرند. اراضی وسیعی از دولت‌ها نیز در جنوب شرقی آسیا و جنوب چین وجود دارند. اراضی وسیعی از التی‌سول‌ها در اقلیم گرم و مرطوب در ارتباط نزدیک با اکسی‌سول‌ها هستند. اراضی مهم کشاورزی تحت این رده در جنوب برزیل و پاراگوئه قرار گرفته‌اند.

هومولت‌ها (ماده‌ی آلی زیاد) در آمریکا در ایالت‌های هاوایی و غرب کالیفرنیا، اورگن و واشنگتن وجود دارند. هومولت‌ها همچنین در اراضی مرتفع کشورهای حاره‌ای وجود دارند. زرات‌ها (التی‌سول‌های اقلیم مدیترانه‌ای) به طور محلی در جنوب اورگن و شمال و شرق کالیفرنیا وجود دارند. استولت‌ها در مناطق نیمه‌خشک با یک اقلیم مشخص خشک وجود دارند. استولت‌ها همراه با استالف‌ها مناطق وسیعی را در آفریقا و هندوستان شامل می‌گردند. التی‌سول‌ها در سواحل شرقی و شمال شرقی استرالیا غالب می‌باشند.

التی‌سول‌ها گرچه به طور طبیعی همانند التی‌سول‌ها و یا مولی‌سول‌ها حاصلخیز نمی‌باشند اما به مدیریت مناسب، عالی جواب می‌دهند. آنها اغلب در مناطقی که دارای فصل طولانی رشد و رطوبت کافی برای تولید خوب محصول می‌باشند قرار گرفته‌اند (شکل ۲۴-۳). رس‌های سیلیکاتی التی‌سول‌ها معمولاً از نوع غیرچسبیده بوده که همراه با حضور اکسیدهای آهن و آلومینوم سهولت کشت و کار را تضمین می‌کنند.



شکل ۲۴-۳ خاک‌ها در این منطقه حاره‌ای مرتفع در آسیای جنوبی آلتی‌سول و در زیر رده هومولت می‌باشند این خاک‌ها به طور وسیع برای ایجاد خانه و باغ‌های تجاری مورد استفاده قرار گرفته‌اند. ترکیب اقلیم مناسب و خاک‌های سرشار از ماده‌ی آلی (هومولت‌ها حداقل دارای ۹ درصد ماده آلی در بخش فوقانی افق B می‌باشند) و عکس‌العمل خوب به کود شیمیایی سبب تشویق ساکنان محلی برای استفاده از هر قطعه کوچک زمین برای تولید سبزی‌ها و تقویت درآمد آنها گردیده است.

^۱ - Plinthite

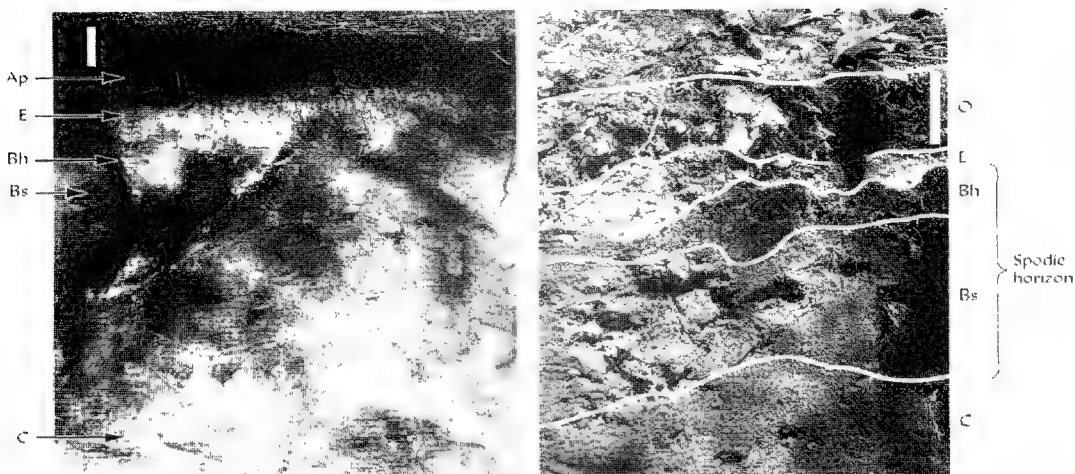
وقتی مقادیر کافی کود و آهک مصرف شود، الی‌سول‌ها کاملاً پرتولید خواهند بود. در ایالات متحده اولی‌سول‌های با مدیریت خوب با مولی‌سول‌ها و آلفی‌سول‌ها به عنوان خاک‌های کشاورزی کلاس درجه یک رقابت می‌کنند. آن‌ها اکثر جنگل‌های نرم چوب و سخت چوب پرتولید تجاری کشور را شامل می‌باشند.

۱۵-۳ اسپدوسول‌ها (خاک‌های اسیدی شنی جنگلی، با درصد اشباع بازی پایین)

شامل زیرراسته‌های Aquods (خیس) Humods (هموسی) Cryods (سرد یخی) Orthods (معمولی) می‌باشد.

اسپدوسول‌ها عمدتاً در مواد مادری بافت درشت اسیدی که در معرض آبشویی هستند، یافت می‌شوند. آن‌ها فقط در مناطق مرطوب و خیس که سرد و یا معتدل می‌باشند قرار دارند (شکل ۷-۳ را مشاهده کنید)، اما در بعضی مناطق حاره‌ای و شبه حاره‌ای نیز وجود دارند. آبشویی شدید اسیدی فرایند اصلی تشکیل خاک است. اسپدوسول‌ها خاک‌های معدنی با افق اسیدیک هستند که در آن‌ها تجمع ماده‌ی آلی آبشویی شده و تجمع اکسیدهای آلومینیوم با و یا بدون اکسید آهن در طبقات تحت الارض معمول می‌باشد (تابلو ۱۰ و شکل ۲۲-۳ را مشاهده کنید). این افق معمولاً نازک و تیره تجمع مواد (ایلوویال)^۱ به‌طور شاخص در زیر یک افق البیک شسته‌شده (نیلوویال)^۲ با رنگ خاکستری روشن قرار دارد.

اسپدوسول‌ها در زیر پوشش جنگلی به وجود می‌آیند، به‌خصوص در زیر گونه‌های سوزنی‌برگ که برگ‌های آن‌ها از کاتیون‌های بازی مانند کلسیم فقیر بوده و از رزین‌های اسیدی سرشار می‌باشد. وقتی لاشبرگ اسیدی تجزیه می‌یابد ترکیبات آلی شدیداً اسیدی آزاد گردیده و به وسیله‌ی آب نافذ عمقی به داخل خاک‌رخ نفوذپذیر حمل می‌شود. این اسیدها با آهن و آلومینیوم پیوند ایجاد کرده و آن‌ها را به طرف پایین حمل می‌کند تا این که در افق اسیدیک ته‌نشین گردند. همین‌طور، ترکیبات آلی محلول به طرف پایین حرکت کرده و بر روی ترکیبات آهن و آلومینیوم رسوب یافته و یا با آن‌ها مخلوط می‌شود. اکثر کانی‌ها غیر از کوارتز به وسیله‌ی آبشویی اسیدی خارج گشته و معمولاً سبب از بین بردن مواد رنگین از افق E می‌شوند. در عمق بیشتر خاک‌رخ، اکسیدهای آهن و آلومینیوم ته‌نشین شده تشکیل افق Bs اسپودیک می‌دهند که اغلب دارای رنگ قهوه‌ای مایل به قرمز هستند. ترکیبات آلی آبشویی شده ممکن است رسوب یافته و تشکیل افق تیره رنگ اسپدیک Bh کنند. ته‌نشینی معمولاً در طول جبهه رطوبتی موج صورت می‌گیرد و بنابراین سبب ایجاد خاک‌رخ‌های اسپدیک بسیار چشمگیر می‌شوند (شکل ۲۵-۳). عمق این فرایندهای آبشویی و هوازدگی و یا افق اسپدیک می‌تواند از ۲۰ سانتی‌متر تا چند متر متغیر باشد.



شکل ۲۵-۳ خاک‌رخ دو اسپدوسول در دماغه بالایی میشگان (چپ) نشان‌دهنده یک افق نسبتاً عمیق موج اسپودیک در زیر افق البیک ناپیوسته می‌باشد. این خاک‌رخ دارای یک افق اکریک Ap یکپارچه می‌باشد که بیانگر آن است که جنگل تراشی شده و شخم خورده‌اند اسپدوسول در کبک (راست) دارای افق کم عمق اسپدیک و افق دست نخورده می‌باشد که از برگ‌های سوزنی‌برگ‌ها در مراحل مختلف پوسیدن تشکیل شده است همان‌طور که شاخص اسپدوسول‌ها است هر دو خاک شنی خیلی اسیدی بوده و برای جنگل سوزنی‌برگان، که در تشکیل آن‌ها مؤثر هستند بسیار مناسب می‌باشند. میله موجود در هر عکس ۱۰ سانتی‌متر است.

^۱ - Illuvial

^۲ - Eluvial

توزیع و استفاده

اراضی وسیعی از اسپدوسول‌ها در اروپای شمالی، روسیه و کانادای مرکزی و شرقی یافت می‌شوند. بسیاری از خاک‌ها در شمال شرقی آمریکا و همین‌طور در شمال میشگان و ویسکانسین و جنوب آلاسکای به این رده تعلق دارند (شکل‌های ۳-۸ و ۳-۲۵ را مشاهده کنید) اسپدوسول‌ها ۳ درصد اراضی جهان و آمریکا را تشکیل می‌دهند. اراضی کوچک اما مهمی در بخش جنوبی آمریکای جنوبی و اراضی خنک کوهستانی در مناطق معتدل وجود دارند.

اکثر اسپدوسول‌ها ارتد، می‌باشند که مفهوم اصلی اسپدوسول‌ها، را که قبلاً بیان شده در بر می‌گیرند. بعضی دیگر اکود می‌باشند زیر آن‌ها به‌طور فصلی از آب اشباع بوده و دارای خصوصیتی هستند که همراه با این مرطوب‌بودن می‌باشد. اراضی مهمی از اکودها در فلوریدا و سایر مناطق با اقلیم گرم یافت می‌شوند.

اسپدوسول‌ها به‌طور طبیعی حاصلخیز نمی‌باشند، وقتی به‌طور مناسب کود داده شوند این خاک‌ها می‌توانند پرتولید گردند. برای نمونه اکثر خاک‌های تولید سب‌زمینی در ماین شمالی^۱ اسپدوسول می‌باشند. بعضی از خاک‌های تولید سبزی‌ها و میوه‌ها در فلوریدا، میشگان و ویسکانسین نیز اسپدوسول می‌باشند. به‌دلیل طبیعت شنی آن‌ها و قرارگرفتن در مناطق پرباران مشخص شده‌است که آلودگی آب زیرزمینی در اثر آبشویی کودهای محلول و آفت‌کش‌ها وقتی این خاک‌ها برای تولید نباتات زراعی مورد استفاده قرار می‌گیرند، مسئله‌ی مهمی می‌باشد. آن‌ها در حال حاضر عمدتاً زیر پوشش جنگل می‌باشند، پوششی که اول تحت آن‌ها تکوین یافته‌اند، اکثر اسپدوسول‌ها باید به‌صورت سکونت‌گاه‌های جنگلی باقی بمانند. به‌خاطر این‌که آن‌ها کاملاً اسیدی بوده و از نظر باغری ضعیف می‌باشند، در بسیاری از اسپدوسول‌ها و دریاچه‌های موجود در حوزه‌های آبخیز که تحت غلبه این رده‌ی خاک قرار دارند به خسارات ناشی از باران اسیدی حساس می‌باشند (فصل ۶-۹ را ملاحظه کنید).

۱۶-۳ اکسی‌سول‌ها (خاک‌های دارای افق اکسیک، با هوادیدگی شدید)

شامل زیراسته‌های Aquox (خیس)، Perox (خیلی مرطوب)، Torrox (خشک گرم)، Udox (مرطوب)، Ustox (خشک/تر) می‌باشد. اکسی‌سول‌ها هوازده‌ترین خاک‌ها در نظام طبقه‌بندی خاک می‌باشد (شکل ۶-۳ را مشاهده کنید). آن‌ها در اقلیم گرم با وجود رطوبت در سرتاسر سال تشکیل می‌شوند. بنابراین پوشش بومی معمولاً باید جنگل‌های حاره‌ای بارانی باشد. هرچند بعضی از اکسی‌سول‌ها (استوکس) امروزه در مناطقی یافت می‌شوند که بسیار خشک‌تر از زمانی می‌باشند که خاک‌ها خصوصیت اکسیک را پیدا کرده‌اند. مهمترین چهره‌ی تشخیصی آن‌ها یک افق زیرزمینی عمیق اکسیک است. این افق دارای مقدار زیادی ذرات در اندازه‌ی رس بوده و اکسیدهای آهن و آلومینیوم در آن‌ها غالب می‌باشد. هوادیدگی و آبشویی شدید سبب حذف بخش بزرگی از سیلیس از مواد سیلیسی در این افق شده‌است. مقداری کوارتز و سیلیکات‌های سیلیسی ۱:۱ باقی مانده اما هیدراکسیدها غالب می‌باشند (فصل ۸ در مورد کانی‌های مختلف رس مشاهده کنید). افق تشخیصی سطحی در اکثر اکسی‌سول‌ها اکریک یا آمبریک می‌باشد. مرز بین افق‌های زیرزمینی نامشخص بوده و به خاک تحت الارض یک ظاهر یکنواخت را در طول عمق ارائه می‌دهد.

میزان رس اکسی‌سول‌ها معمولاً بالا است، اما رس‌ها از نوع غیرفعال و غیرچسبنده می‌باشند، بنابراین وقتی رس خشک می‌شود خاک سخت و کلوخه‌ای نیست و به آسانی قابل کشت و کار است. اکسی‌سول‌ها همچنین به تراکم مقاوم می‌باشند. بنابراین آب به آسانی از خاک‌رخ آن‌ها عبور می‌کند، عمق هوادیدگی در اکسی‌سول‌ها بسیار بیشتر از اکثر رده‌های دیگر است، ژرفای ۲۰ متر و بیشتر نیز مشاهده شده‌است. رس‌های غیرفعال دارای ظرفیت بسیار محدودی برای نگهداری کاتیون‌های غذایی مانند K^+ ، Mg^{2+} ، Ca^{2+} بوده، بنابراین آن‌ها به‌طور شاخص دارای حاصلخیزی طبیعی پایین و به‌طور متوسط اسیدی می‌باشند. غلظت بالای اکسیدهای آهن و آلومینیوم به این خاک‌ها ظرفیت لازم را برای ایجاد پیوند محکم با اندک فسفر موجود ارائه می‌دهد. کمبود فسفر اغلب سبب محدودیت رشد نبات پس از به‌هم‌خوردن پوشش طبیعی می‌شود.

ایجاد جاده و ساختمان در اکثر اکسی‌سول‌ها به آسانی انجام می‌شود زیرا این خاک‌ها به سادگی حفاری شده و انقباض و انبساط نمی‌یابند و در روی شیب‌ها پایدار می‌باشند. خاکدانه‌های پایدار در رس‌ها به‌وسیله‌ی ترکیبات آهن تقویت می‌شود و این خاک‌ها را به فرسایش کاملاً مقاوم می‌سازد.

^۱ - Nothern mine

توزیع و طرز استفاده

اکسی‌سول‌ها در حدود ۸ درصد سطح زمین یافت می‌شوند (جدول ۵-۳ را مشاهده کنید). آن‌ها سطوح قدیمی را اشغال کرده و عمدتاً در مناطق حاره‌ای یافت می‌شوند. گرچه تقریباً تمام اکسی‌سول‌ها در مناطق حاره‌ای وجود دارند. اکثر خاک‌های مناطق حاره‌ای اکسی‌سول نمی‌باشند. اراضی وسیعی از اکسی‌سول‌ها در آمریکای جنوبی و آفریقا قرار دارند (عکس پشت جلد را مشاهده کنید).

اطلاعات جدید از دانشمندان علوم خاک برزیل مطرح می‌کنند که بعضی از اراضی حوزه‌ی آمازون که اخیراً اکسی‌سول طبقه‌بندی شده بودند. در واقع از التی‌سول‌ها و سایر خاک‌ها تشکیل شده‌اند. ادوکس (با فصل خشک کوتاه) در برزیل شمالی و کشورهای همجوار و همین‌طور منطقه‌ی کاراییب (تابلو رنگی ۹) یافت می‌شوند. اراضی عمده‌ای از استوکس (اکسی‌سول‌هایی که دارای تابستان‌های گرم و خشک می‌باشند) در برزیل و در جنوب ادوکس‌ها یافت می‌گردند. در مناطق مرطوب آفریقای مرکزی اکسی‌سول فراوان بوده و در بعضی موارد غالب می‌باشند.

درمقایسه با اکثر راسته‌های خاک، اطلاعات نسبتاً اندکی از اکسی‌سول‌ها در دست داریم. آن‌ها در یک منطقه‌ی جغرافیایی وسیع یافت می‌شوند و اکثراً همراه با اولتی‌سول‌ها می‌باشند. میلیون‌ها نفر در مناطق حاره‌ای برای فراهم کردن غذا و پوشاک وابسته به آن‌ها می‌باشند. به دلیل حاصلخیزی پایین اکثر اکسی‌سول‌ها زیر پوشش جنگل باقیمانده و یا به‌وسیله‌ی روش‌های کشاورزی نوبتی کشت و زرع می‌شوند، چرخه‌ی عناصر غذایی به‌وسیله‌ی درختان ریشه عمیق در توان تولید این خاک‌ها به‌خصوص مهم می‌باشند. احتمالاً بهترین استفاده از اکسی‌سول به غیر از جنگل بارانی، کشت گیاهان چند ساله با تاج پوشش مخلوط به‌خصوص درختان می‌باشد. این کشت‌ها سبب حفظ نظام چرخه‌ی عناصر غذایی است که قبل از قطع جنگل‌های بارانی روابط خاک و گیاه را مشخص می‌ساختند.

۱۷-۳ گروه‌های پایین در رده‌بندی خاک

زیرراسته‌ها

در داخل هر راسته‌ی خاک که در صفحات قبل تشریح گردید، خاک‌ها به زیرراسته‌ها (جدول ۶-۳) بر اساس خصوصیتی از خاک که عمده‌ترین اثرات محیطی را بر فرایند جاری تشکیل خاک اعمال می‌کنند، گروه‌بندی می‌شوند. بسیاری از زیرراسته‌ها معرف رژیم رطوبتی و به‌ندرت رژیم دمایی مناطق می‌باشند که در آن‌ها خاک‌ها یافت می‌شوند بنابراین، خاک‌های تشکیل شده در شرایط مرطوب معمولاً در زیرراسته‌ی جداگانه‌ای مشخص می‌شوند (مانند اکونت‌ها، اکورت‌ها و اکویت‌ها) و همین‌طور خاک‌های خشک‌تر تحت زیرراسته‌های دیگری (مانند استالف، استلت) مشخص می‌شوند. برای تعیین رابطه بین نام زیرراسته‌ها و خصوصیات خاک به جدول ۷-۳ مراجعه کنید. در این جدول عناصر سازنده‌ی نام زیرراسته‌ها مشخص گشته و معنی ضمنی آن‌ها نیز داده شده است. بنابراین استول‌ها (از کلمه‌ی لاتین *ustus* به معنی سوخته) مولی‌سول‌های مناطق خشک می‌باشند و به همین ترتیب، خاک‌ها در راسته‌ی ادولت (از کلمه‌ی لاتین *udus* به معنی مرطوب) اولتی‌سول‌های مرطوب می‌باشند. تشخیص خصوصیات اصلی هر کدام از زیرراسته‌ها می‌تواند با مراجعه‌ی متقابل جداول ۷-۳ و ۶-۳ انجام گیرد.

جدول ۶-۳ رده‌ها و زیررده‌های طبقه‌بندی خاک (توجه کنید آخر اسامی زیررده‌ها، رده‌های را که خاک‌ها در آن قرار دارند مشخص می‌سازد).

نام راسته	نام زیرراسته	نام راسته	نام زیرراسته
Entisols	Aquents/Arents/Fluents/Orthents/Psamments	Vertisols	Aquerts/Cryerts/Uderts/Usterts/Xererts
Inceptisols	Anthrepts/Aquepts/Cryepts/Udepts/Ustepts/Xerepts	Aridisols	Argids/Calcids/Cambids/Cryids/Durids/Gypsids/Salids
Mollisols	Albolls/Aquolls/Cryolls/Rendolls/Udolls/Ustolls/Xerolls	Spodosols	Aquods/Cryods/Humods/Orthods
Alfisols	Aqualfs/Cryalfs/Udalfs/Ustalfs/Xeralfs	Histosols	Fibrist/Hemists/Saprist/Folist
Ultisols	Aquults/Humults/Uduults/Ustults/Xerults	Andisols	Aquands/Cryands/Torrands/Udands/Ustands/Xerands/Vitrands
Oxisols	Aquox/Perox/Torrox/Udox/Ustox	Gelisols	Histels/Orthels/Turbels

جدول ۷-۳ عناصر تشکیل دهنده نام زیراسته‌ها در نظام طبقه‌بندی خاک

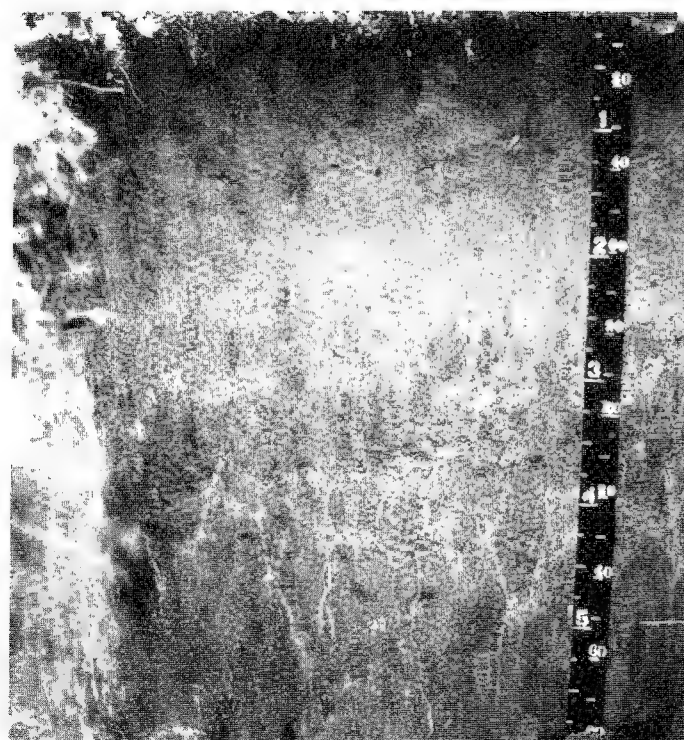
عناصر سازنده	منشاء	معنی ضمنی عناصر سازنده	عناصر سازنده	منشاء	معنی ضمنی عناصر سازنده		
alb	سفید (لاتین)	albus	حضور افق الیک یک افق شسته شده	hum	زمین (لاتین)	humus	حضور ماده‌ی آلی
anthr	انسان (یونانی)	anthros	حضور افق اتروپیک و با پلاگن	ochr	رنگ پریده (لاتین)	ochr	حضور اپی‌پدون اکریک (رنگ روشن)
aqua	آب (لاتین)	aqua	خصوصیاتی که در ارتباط با تسر و خیس شدن است	orth	واقعی (یونانی)	orthos	نوع معمولی
ar	شخم زدن (لاتین)	arare	افق‌های مخلوط شده	per	تمام سال (لاتین)	per	در طول سال اقلیم مرطوب پربودیک
arg	رس سفید (لاتین)	argilla	حضور افق ارچلیک (افسج تجمع رس شسته شده)	psamm	شن (یونانی)	psammos	بافت شنی
calc	آهک (لاتین)	calcis	حضور افق کلسیک	rend	تغییر یافته از	rendzina	شبه rendzina ز نظر کریبانتها سرشار
camb	تغییر (لاتین)	cambriare	حضور افق کمییک	sal	نمک (لاتین)	sal	حضور افق‌های سالیید (شور)
cry	سرد - یخی (یونانی)	kryos	مناطق سرد	sapr	پوسیده یونانی	sapros	بیشترین تجزیه‌ی مواد آلی
dur	سخت (لاتین)	durus	حضور سخت‌لایه‌ی سیلیسی (دوری‌پن)	torr	گرم و خشک (لاتین)	torridus	معمولاً خشک
fibr	رشته (لاتین)	fibra	مرحله‌ی کمترین تجزیه‌ی ماده‌ی آلی	turb	دست خورده (لاتین)	turbidus	(کری توریشن) به هم خوردگی یخی
flur	رودخانه (لاتین)	fluvius	سپلدشت	ud	مرطوب (لاتین)	udus	مربوط به اقلیم مرطوب
fol	برگ (لاتین)	folia	توده‌ی برگ	umbr	سایه (لاتین)	umbra	حضور اپی‌پدون آمبریک (رنگ تیره)
gyps	گچ (لاتین)	gypsum	حضور افق جیسیک (گچی)	ust	سوخته (لاتین)	ustus	اقلیم خشک معمولاً گرم در تابستان
hem	نصف (یونانی)	hemi	مرحله‌ی میانی تجزیه و تخریب ماده‌ی آلی	vitru	شیشه (لاتین)	vitreus	شبه شیشه
hist	بافت (یونانی)	histos	حضور اپی‌پدون هیستیک	xer	خشک (یونانی)	xeros	تابستان‌های خشک زمستان‌های مرطوب

گروه‌های بزرگ خاک

گروه‌های بزرگ خاک تقسیمات فرعی زیر رده‌ها می‌باشند. بیشتر از ۲۴۰ گروه بزرگ مشخص شده است، آن‌ها عمدتاً با بودن و یا نبودن افق‌های مشخصه و ترتیب آن‌ها مشخص می‌شوند. این نام‌گذاری افق‌ها در فهرست عناصر تشکیل دهنده برای تعیین نام گروه‌های بزرگ در جدول ۸-۳ آمده است. توجه داشته‌باشید این عناصر تشکیل دهنده، به افق‌های سطحی مانند آمبریک، اکریک (جدول ۱-۳ و شکل ۲-۳ را مطالعه کنید) و به افق‌های زیر سطحی مانند ارچلیک، ناتریک و سخت‌کفه‌ها مانند دوری‌پن، فراجی‌پن اشاره دارد (شکل ۳۶-۳ را مشاهده کنید).

جدول ۸-۳ عناصر سازنده اسامی گروه‌های بزرگ و معنی ضمنی آن‌ها. این عناصر سازنده با اسامی مناسب زیر رده‌ها ترکیب شده و نام گروه‌های بزرگ خاک را ایجاد می‌کنند.

عناصر سازنده	معنی ضمنی	عناصر سازنده	معنی ضمنی	عناصر سازنده	معنی ضمنی
acr	هواپدیدی شدید	fol	توده‌ی برگی	plac	سخت کفه‌ی نازک
agr	افق آگریک	fragi	افق فراچی‌پن	plagg	افق پلاگن
al	آلومینیوم زیاد آهن کم	fragloss	فراچی و شیشه	plinth	پلینتایت
alb	افق البیک	fulv	افق ملاسک روشن	psamm	باقث شنی
and	شبه Ando	gyps	افق گچی	quartz	درصد بالای کوارتز
anhy	بدون آب	gloss	زبان	rhod	قرمز تیره
aqu	اشباع از آب	hal	نمکی	sal	افق سالیبیک
argi	افق ارجلیک	hapl	افق کمینه	sapr	بیشترین تجزیه
Calc,calci	افق کلسیک	hem	تجزیه متوسط	somb	افق تیره‌رنگ (سیاه)
camb	افق کمبیک	hist	حضور مواد آلی	sphagn	خره‌ی اسفانگتوم
chrom	دارای کرومای بالا	hum	هموس	sulf	سولفور
cry	سرد	hydr	آب	torr	همیشه خشک و گرم
dur	افق دوری پن	kand	رس‌های ۱:۱ با فعالیت کم	ud	اقلیم مرطوب
dyst,dys	درصد اشباع بازی کم	lithic	نزدیک سنگ	umbr	ایپیدون امبریک
endo	کاملاً اشباع از آب	luv و lu	مربوط به الویال-آبرفت	ust	اقلیم خشک معمولاً گرم در تابستان
epi	سفره آب آویزان	melan	ایپیدون ملاتیک	verm	مخلوط شده با حیوانات - کرم دار
eutr	درصد اشباع بازی زیاد	molli	ایپیدون مالیک	vitr	شیشه
ferr	آهن	natr	افق سدیمی	xer	فصل خشک سالانه
fibr	کمترین میزان تجزیه	pale	تکامل یافته در قدیم		
fluv	سیلدشت	petr	افق سیمانی شده		



Fragipan

شکل ۲۶-۳ یک فراچی اودالف جنگلی در ایالت میسوری. شامل یک فراچی پن خوب تکامل یافته با ساختمان منشوری که به وسیله پوشش خاکستری ناشی از خروج آهن مشخص شده است. فراچی پن (معمولاً) افق‌های Bx و Cx، فوق‌العاده متراکم و شکننده است. آن‌ها عمدتاً از لای با مقدار قابل ملاحظه‌ای شن اما نه با رس خیلی زیاد تشکیل شده‌اند. علامت مواجه شدن با افق فراچی پن در مزرعه عبارتست از صدای زنگ‌وار بیل در هنگام حفاری آن است. حفر یک فراچی پن همانند حفاری بتن است، ریشه‌ی نباتات در این لایه نمی‌تواند انتشار یابد. اما هنگامی که یک قطعه فراچی پن با آب نرم‌وسست می‌شود. با فشار دست می‌توان آنرا خرد کرد. این لایه شکل‌پذیر نبوده و دارای حالت شکننده است.

به‌خاطر داشته باشید که نام گروه‌های بزرگ خاک از این عناصر سازنده که به‌صورت پیشوند به اسامی زیرراسته‌ها که گروه بزرگ در آن واقع شده‌است، متصل گردیده و ساخته می‌شوند. بنابراین Ustolls با یک افق سرشار از سدیم (افق ناتریک) به گروه بزرگ Natrustolls تعلق دارد. همان‌طور که از مثال موردبحث در تابلو ۳-۱ مشاهده می‌شود، تشریح خصوصیات خاک در سطح گروه بزرگ می‌تواند اطلاعات مهمی را ارائه دهد که در سطوح بالاتر و عمومی‌تر طبقه‌بندی مطرح نمی‌باشند.

اسامی گروه‌های بزرگ انتخاب‌شده از سه راسته در جدول ۳-۹ آمده است. این فهرست مفیدبودن رده‌بندی خاک به‌خصوص واژه‌های علمی به‌کارگرفته را مجدداً تشریح می‌کند. این اسامی نام زیرراسته و راسته‌ای که گروه بزرگ در آن یافت می‌شود مشخص می‌کند. بنابراین Argiudolls مولی‌سول‌هایی هستند در زیرراسته‌ی Udolls که به‌وسیله‌ی افق ارجلیک مشخص شده‌اند، مراجعه متقابل به جدول ۳-۸ خصوصیات خاصی که گروه‌های بزرگ را از همدیگر جدا می‌سازد مشخص می‌کند.

با توجه به جدول ۳-۹، تمام ترکیبات ممکن از پیشوند گروه‌های بزرگ و زیرگروه‌ها به‌کار نمی‌روند. در بعضی موارد یک ترکیب به‌خصوص موجود نمی‌باشد. برای مثال اکول‌ها در اراضی پست وجود دارند نه بر روی اراضی قدیمی. بنابراین Paleaquolls وجود ندارد. همچنین، از آن‌جا که تمام الفی‌سول‌ها و الی‌سول‌ها دارای افق ارجلیک می‌باشند استفاده از واژه‌هایی مانند Argiudults تکرار مکررات است.

جدول ۳-۹ مثال‌هایی از نام گروه‌های بزرگ زیرراسته‌های انتخابی مولی‌سول‌ها، الفی‌سول‌ها و الی‌سول‌ها

نام راسته و زیرراسته	افق ارجلیک	شکل معمول بدون چهره قابل تشخیصی	سطوح اراضی قدیم
مولی‌سول‌ها			--
۱- خیس Aquolls	Argiaquolls	Haplaquolls	--
۲- مرطوب Udolls	Argiudolls	Hapludolls	Paleudolls
۳- خشک Ustolls	Argiustolls	Haplaustolls	Paleustolls
۴- مدیترانه‌ای Xerolls	Argixerolls	Haploxerolls	Palexerolls
الی‌سول‌ها			
۱- خیس Aqualfs	--	--	--
۲- مرطوب Udalfs	--	Hapludalfs	Paleudalfs
۳- خشک Ustalfs	--	Haplustalfs	Paleustalfs
۴- مدیترانه‌ای Xeralfs	--	Haploxeralfs	Palexeralfs
الی‌سول‌ها			
۱- خیس Aquults	--	--	Paleaquults
۲- مرطوب Udults	--	Hapludults	Paleudults
۳- خشک Ustults	--	Haplustults	Paleustults
۴- مدیترانه‌ای Xerults	--	Haploxerults	Palexerults

زیرگروه‌های خاک^۱

زیرگروه‌ها تقسیمات فرعی گروه‌های بزرگ می‌باشند بیشتر از ۱۳۰۰ زیرگروه تشخیص داده شده است. زیرگروهی که مفاهیم اصلی یک گروه بزرگ را معرفی کند Typic نامیده می‌شود. بنابراین، Typic Hapludolls زیرگروهی است که گروه بزرگ Hapludolls را مشخص می‌کند. سایر زیرگروه‌ها ممکن است خصوصیات داشته باشند که در تلفیق با مفاهیم اصلی و خاک سایر راسته‌ها، زیرراسته‌ها و گروه‌ها قرار گیرد. یک Hapludolls با زه‌کشی محدود تحت عنوان Aquic Hapludolls طبقه‌بندی می‌شود. زیرگروهی با شواهد فعالیت زیاد کرم‌های خاکی تحت عنوان Vermic Hapludolls طبقه‌بندی می‌شوند. بعضی از تلفیق‌ها ممکن است دارای خصوصیات مشترک با سایر راسته‌ها و یا سایر گروه‌های بزرگ باشد. بنابراین، زیرگروه Entic Hapludolls یا مولی‌سول‌ها با تکامل ضعیف به تلفیق با Entisols متمایل است. مفهوم زیرگروه قابلیت انعطاف این نظام طبقه‌بندی را به‌خوبی تشریح می‌کند.

^۱ - Sub groups

تابلو ۱-۳ گروه‌های بزرگ، فراچی‌پن‌ها و حفاری‌های باستان‌شناسی

رده‌بندی خاک یک وسیله ارتباط است که به دانشمندان و مدیران اراضی در مبادله‌ی اطلاعات یاری می‌رساند. در این تابلو ما خواهیم دید که چگونه طبقه‌بندی غلط، حتی در سطوح پایین رده‌بندی خاک مانند گروه بزرگ دارای هزینه‌های جانبی سنگین می‌باشد. به‌خاطر حفظ میراث ملی، قوانین فدرال و ایالتی نیازمند یک بیانیه در مورد آثار باستانی قبل از اقدام به عملیات عمده ساختمانی می‌باشد. آثار باستانی معمولاً در سه مرحله ارزیابی می‌شوند. محل‌های انتخاب شده سپس به‌وسیله باستان‌شناسان با این امید مطالعه می‌شود که حداقل بعضی از کارهای دستی محافظت گردیده و قبل از این‌که فعالیت‌های ساختمانی آن‌ها را کاملاً معدوم سازد مورد تفسیر قرار گیرند. فقط محل‌های نسبتاً کوچکی می‌توانند به حفاری‌های واقعی باستان‌شناسی اختصاص یابند زیرا کارها مهارت یدی پرهزینه‌ای را می‌طلبند. (شکل ۲۷-۳).

چنین مطالعه آثار باستانی به‌عنوان یک پیش‌نیاز برای ساخت یک بزرگراه جدید در ایالت‌های اتلانتیک میانی سفارش گردید. در مرحله‌ی اول، یک شرکت مشاوره اطلاعات خاک و سایر اطلاعات را از نقشه‌ی عکس‌های هوایی و مطالعات صحرایی برای تعیین این‌که انسان‌های نوسنگی در کجا مستقر شده‌اند، جمع‌آوری کرد. سپس مشاورین ۱۲ هکتار را تشخیص دادند که در آن‌ها دست‌ساخته‌هایی بیانگر فعالیت‌های مهم نوسنگی بود. خاک‌ها در یک منطقه عمدتاً به‌عنوان Typic Dystrudepts تشخیص داده شده بود. این خاک‌ها از مواد قدیمی آبرفت و کوهرفت که هزاران سال قبل در سواحل یک رودخانه قرار داشتند تشکیل شده بود. چندین خاک‌رخ شاهد خاک با حفر چاله‌ای به‌وسیله‌ی بیل مکانیکی مورد آزمایش قرار گرفت. افق‌های مختلف مورد تشریح قرار گرفت و مشخص شد در کدام افق مواد مصنوعی احتمالاً یافت خواهد شد. چیزی که مورد توجه قرار نگرفت وجود یک لایه فراچی‌پن متراکم شکننده بود که حفاری آن با وسایل دستی بسیار مشکل بود.

فراچی‌پن یک افق تشخیصی زیرزمینی است که برای طبقه‌بندی خاک معمولاً در سطح گروه بزرگ و یا زیرگروه مورد استفاده می‌باشند. (شکل ۱۶-۳ را مشاهده کنید). حضور آن سبب تمیز Fragiudepts از Dystrudepts می‌گردد.

هنگامی که وقت آن رسید حفاری دستی واقعی برای کشف مواد مصنوعی انجام شود با یک شرکت مشاور دوم قرار داد بسته شد. بدبختانه، پیشنهاد آن‌ها در قرارداد بر اساس تشریح خاک‌رخ خاک بود که در آن خاک‌ها به Fragiudept رده‌بندی نشده بود خاک‌های بسیار متراکم، شکننده سخت فراچی‌پن که می‌بایست با دست حفاری شوند. بنابراین مشکل این لایه بود که می‌بایست در آن‌ها با دست حفاری و غربال انجام گیرد که خود سبب ایجاد حدود یک میلیون دلار هزینه‌ی اضافی بود. لازم نیست گفته شود یک مجادله پیش آمد که آیا این هزینه باید به‌وسیله‌ی مهندسین مشاور، که پیشنهاد خود را براساس اطلاع غلط ارائه کرده بودند، و یا مهندسین مشاور اولیه که به‌طور کافی در تشریح حضور فراچی‌پن شکست خورده بودند، و یا شرکت سازنده‌ی بزرگراه که هزینه‌ی مطالعات را فراهم کرده بود، پرداخت شود.

این داستان نمونه‌ای از اهمیت عملی طبقه‌بندی خاک را ارائه می‌دهد. حضور عنصر سازنده‌ی Fragi در اسم یک گروه بزرگ خاک، ما را از حضور یک لایه متراکم غیرقابل نفوذ آگاه خواهد داد که حفاری آن بسیار مشکل بوده و سبب محدودیت رشد ریشه نبات (اغلب سبب افتادن درخت در باد و یا رشد ریشه بسیار کم)، ایجاد یک سفره آویزان آب زیرزمینی (شرایط اپی اکویک) و مزاحمت در نفوذ عمقی در یک میدان زه‌کشی فاضلاب خواهد شد.



شکل ۲۷-۳

یک چاله
باستان‌شناسی

خانواده‌ها^۱: در داخل یک زیرگروه، اگر خاک‌ها در عمق مشخص دارای خصوصیات مشابه فیزیکی و شیمیایی مؤثر در رشد ریشه‌ی گیاهان باشند، در یک خانواده قرار می‌گیرند. حدود ۸۰۰۰ خانواده تشخیص داده شده است. استانداردهای به‌کاررفته شامل طبقات اندازه‌ی ذرات، کانی‌شناسی، تبادل کاتیونی رس فعال، دما و عمق قابل انتشار خاک به‌وسیله‌ی ریشه‌ی گیاه می‌باشد.

جدول ۳-۱۰ نمونه‌ای از کلاس‌های مورد استفاده را نشان می‌دهد (یک فهرست کامل در پیوست ب آمده است). واژه‌هایی همچون Clayey, Sandy, Loamy برای تشخیص کلاس‌های کلی بافت به‌کار می‌روند. واژه‌های به‌کار رفته برای تشریح کلاس‌های کانی‌شناسی شامل Mixed و Smectitic, Kaolinitic, Siliceous, Carbonatic می‌باشد.

رس‌ها به‌صورت Subactive, active و Superactive در ارتباط با نگهداری کاتیون‌ها تقسیم می‌شوند. برای کلاس‌های دما واژه‌هایی مانند Mesic Cryic و Thermic به‌کار می‌رود. واژه‌هایی Shallow و Micro بعضی مواقع در سطح خانواده برای بیان عمق‌های غیرمعمول خاک به‌کار می‌رود. بنابراین، یک زیرگروه Typic Argiudolls در ایالت آیوا که دارای بافت لومی و مخلوط کانی‌های رسی با میانگین دمای سالانه (در عمق ۵۰ سانتی‌متری خاک) بین ۸ تا ۱۵ درجه سانتیگراد باشد در خانواده‌های Typic Argiudolls, loamy, mixed, active mesic طبقه‌بندی می‌شود در مقابل یک خاک بافت شنی Typic Haplorthods که دارای درصد کوارتز بالا بوده و در یک منطقه سرد در کانادا قرار گرفته است به‌صورت خانواده‌ی Typic Haplorthods, sandy, siliceous, frigid طبقه‌بندی می‌شود (توجه کنید که کلاس‌های فعالیت رس برای خاک‌ها در کلاس بافت Sandy کاربرد ندارد).

جدول ۳-۱۰ مثال‌هایی از اندازه‌ی ذرات، کانی‌شناسی و دما که در تفکیک خانواده‌ها به‌کار می‌رود. این خصوصیات معمولاً مربوط به خاک زیرین و یا عمق ۵۰ سانتی‌متری است. سایر معیارها که برای جداکردن خانواده خاک به‌کار می‌روند (اما در این‌جا نشان داده نشده‌است)، شامل حضور خصوصیات آهکی و یا سمپت خیلی‌زیاد آلومینیوم (allic)، عمق فوق‌العاده کم (Shalliw و Mieru) درجه‌ی سیمانی‌شدن، پوشش روی دانه‌های شن و حضور ترک‌های دایمی می‌باشد.

کلاس رژیم دمایی			کلاس فعالیت تبادل کاتیونی (ب)		کلاس کانی‌شناسی	کلاس اندازه ذرات
C° < 6 تفاوت دمای تابستان با زمستان	C° > 6 تفاوت زمستان با تابستان	C° میانگین دمای سالانه	CEC درصد رس	واژه‌ها		
--	Hypergelic (ج)	< -۱۰	۰/۶	Superactive	Mixed	Ashy
--	Pergelic (ج)	-۱۰ تا -۴	۰/۴ - ۰/۶	Active	Micaceous	Fragmental
--	Subgelic	-۴ تا +۱	۰/۲۴ - ۰/۴	Semiaactive	Siliceous	Sandy (الف) skeletal
--	Cryic	< +۸	< ۰/۲۴	Subactive	Kaolinitic	Sandy
Isotrigid	Frigid (د)	< +۸			Smectitic	Loamy
Isomesic	Mesic	+۸ تا +۱۵			Gibbsitic	Clayey
Isothermic	Thermic	+۱۵ تا +۲۲			Gypsic	Fine-silty
Isohyperthermic	Hyperthermic	> +۲۲			Carbonic	Fine-loamy
					Etc.	Etc.

الف: Skeletal عبارتست از وجود بیش از ۳۵٪ حجمی قطعات سنگی.

ب: برای رده‌های دارای CEC پایین کلاس فعالیت کاتیون (گروه‌های اکسیک و کاندیک) مصرف نمی‌شود.

ج: یخ‌بندان دایمی.

د: Frigid در تابستان گرم‌تر از Cryic است.

سری‌های خاک

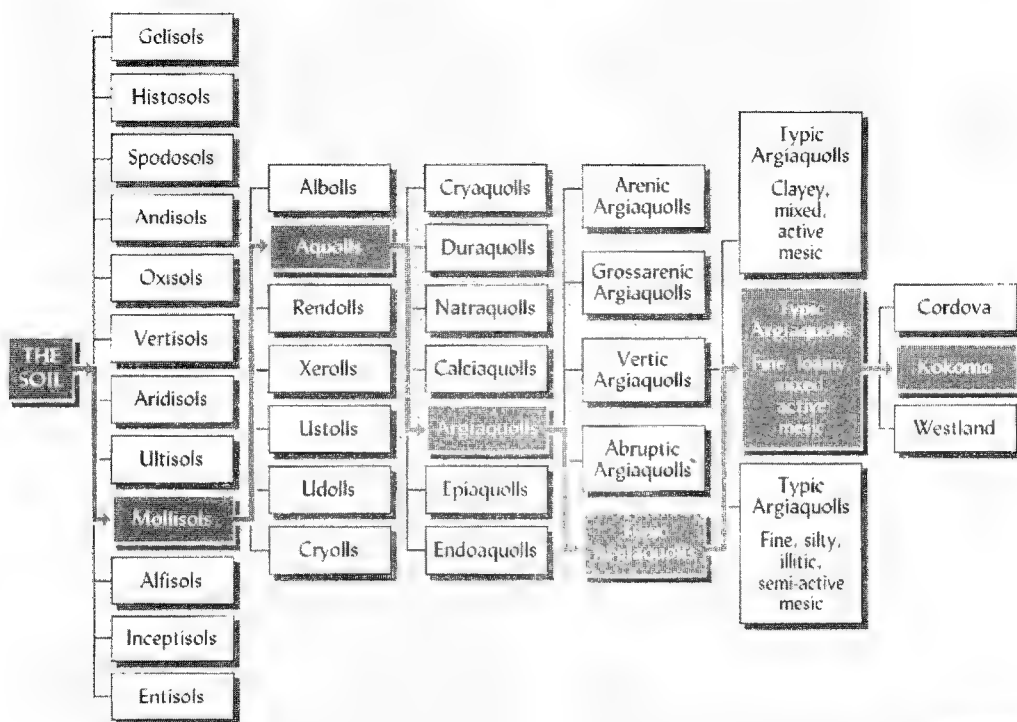
سری خاک اختصاصی‌ترین واحد نظام طبقه‌بندی بوده و از تقسیمات خانواده و پایین‌ترین گروه در نظام طبقه‌بندی می‌باشد. هر سری به‌وسیله‌ی دامنه‌ی خاصی از ویژگی‌های خاک، که عمدتاً شامل نوع، ضخامت و ترتیب افق‌ها است مشخص می‌شود. چهره‌هایی مانند سخت لایه‌ها در فاصله‌ی خاص در زیر سطح، یک منطقه‌ی مشخص تراکم کربنات کلسیم در عمق ویژه و یا خصوصیات بارز رنگ در تشخیص سری‌ها بسیار کمک می‌کنند.

در ایالات متحده‌ی آمریکا به هر سری نامی داده می‌شود که معمولاً از اسم شهر، دهکده، رودخانه، ناحیه مانند Cecil.Fargo، Mohave، Muscatine و یا Ontario ناشی می‌شود. بیشتر از ۱۹۰۰۰ سری خاک در ایالات متحده وجود دارد.

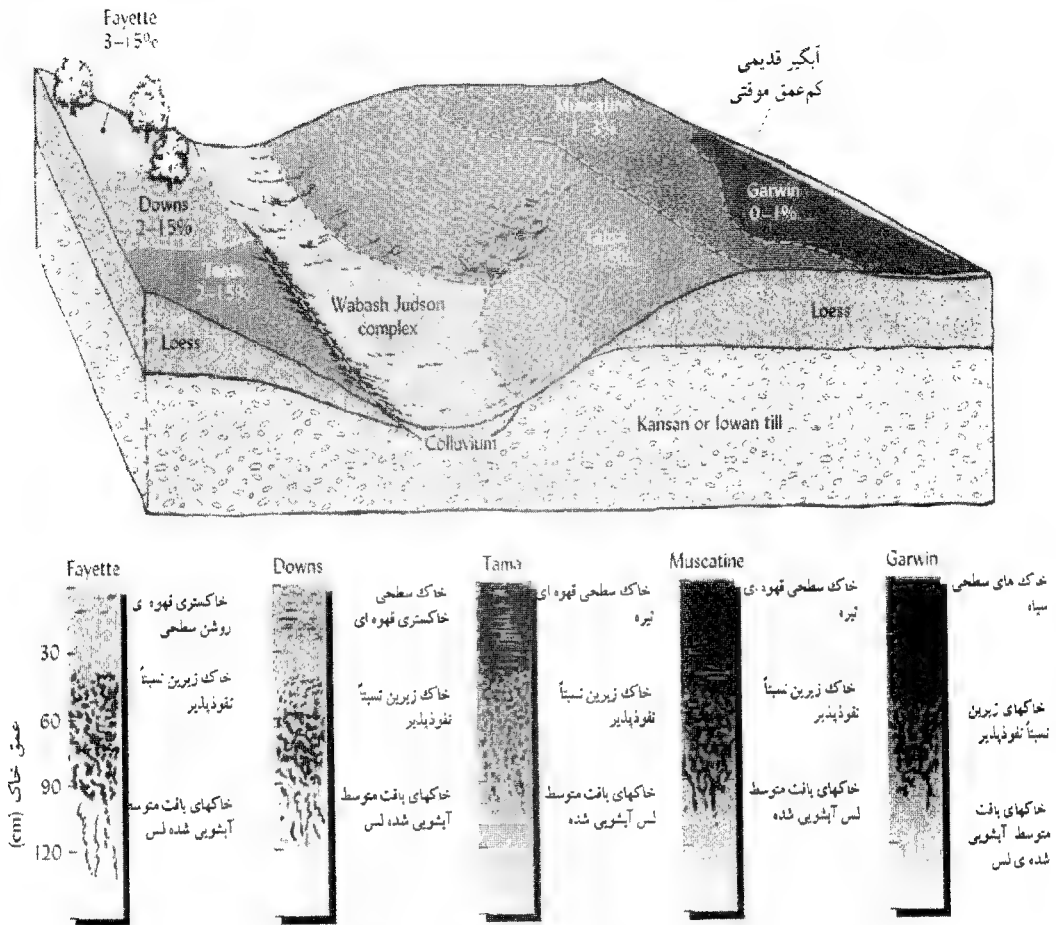
طبقه‌بندی کامل خاک‌های مولی‌سول سری Kokomo در شکل ۲۸-۳ داده شده است. این شکل تشریح می‌کند که چگونه رده‌بندی خاک می‌تواند برای نشان‌دادن رابطه‌ی بین خاک که یک واژه‌ی جامع دربرگیرنده‌ی تمام خاک‌ها است با یک سری خاص مورد استفاده قرار گیرد. این شکل نیازمند مطالعه‌ی بیشتر می‌باشد. زیرا، اطلاعات بسیارزایدی را درمورد ساختار و استفاده از رده‌بندی آشکار می‌سازد.

موقعیت صحرایی

در بررسی واحدهای مختلف نظام رده‌بندی خاک ما به این حقیقت که خاک‌ها در صحرا در کنار هم قرار گرفته‌اند اشاره اندکی داشته‌ایم یک قطعه‌ی کوچک زمین حتی در اندازه چند هکتار، به‌نظر می‌رسد که انواع مختلفی از خاک را دارا باشد. در روی نقشه، خاک‌شناسی آن‌ها به‌صورت سری‌های متفاوت مشخص می‌شوند. در روی نقشه خاک‌شناسی تفصیلی، واحدهای نقشه بر اساس سری‌های جدا شده نام‌گذاری می‌شود. خاک‌های مجاور ممکن‌است در خانواده‌ها، زیرگروه‌ها و ... مختلفی باشند در بعضی موارد آن‌ها حتی ممکن‌است در رده‌های مختلفی طبقه‌بندی شوند. مثالی از این موقعیت صحرایی در شکل ۲۹-۳ در آن واحد نقشه به‌وسیله‌ی سری خاک متعلق به رده مولی‌سول همراه با دو سری خاک متعلق به آلفی‌سول غالب می‌باشند نشان داده شده است. تشخیص چنین مجموعه‌ی خاک‌های صحرایی در انجام مطالعات خاک‌شناسی و تفسیر اطلاعات جغرافیایی خاک بسیار مهم می‌باشند.



شکل ۲۸-۳ تصویری که تشریح می‌کند چگونه یک خاک Kokomo با در کل طرح طبقه‌بندی انتخاب می‌شود. چهارگوش‌های تیره مشخص می‌سازد که خاک در رده‌ی مولی‌سول، زیر رده Aqualolls، گروه بزرگ Argiaquolls، زیرگروه Typic Argiaquolls می‌باشد. در هر دسته سایر واحدهای طبقه‌بندی که به‌وسیله‌ی کلید رده‌بندی خاک انتخاب می‌شوند، نشان داده شده است.



شکل ۳-۲۹ مجموعه‌ی خاک‌ها در ایوا، به رابطه‌ی نوع خاک با ۱- ماده‌ی مادری ۲- پوشش گیاهی ۳- پستی و بلندی ۴- زه‌کشی توجه داشته باشید. دو خاک آلفی سول (سری‌های Fayette, Down) و سه نوع خاک مولی سول (سری‌های Tama, Muscatine, Garwin) در شکل نشان داده شده‌اند.

۳-۱۸ نتیجه‌گیری نهایی

خاکی که سطح زمین را می‌پوشاند در واقع از شمار زیادی واحدهای انفرادی خاک تشکیل شده است که هر یک ویژگی‌های جداگانه‌ای دارند. در بین این خصوصیات، مهمترین آن‌هایی هستند که همراه با لایه‌های افقی و یا افق‌ها بوده که در پیکره خاک یافت می‌شوند. این افق‌ها بیانگر فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی بوده که خاک طی تکامل در آن قرار گرفته است. خصوصیات این افق‌ها در چگونگی استفاده از خاک‌ها بسیار مؤثر می‌باشد.

اطلاع از انواع و خصوصیات خاک‌های سرتاسر جهان در تلاش انسان‌ها برای بقا و رفاه آن‌ها حیاتی می‌باشند. بر اساس این خصوصیات اگر انتظار داریم که دانش کسب‌شده در یک محل برای حل مسایل نقاط دیگر با کلاس‌های خاک مشابه مورد استفاده قرار گیرد آن‌وقت نظام طبقه‌بندی خاک نیز دارای اهمیت حیاتی خواهد بود.

رده‌بندی خاک یک نظام طبقه‌بندی بر اساس خصوصیات قابل اندازه‌گیری می‌باشد که برای رفع این نیاز ۵۵ کشور جهان کمک می‌کنند. دانشمندان با یادگیری بیشتر در مورد طبیعت و خصوصیات خاک‌های جهان و رابطه بین آن‌ها مرتباً در این نظام تجدید نظر می‌کنند. در بقیه فصل‌های این کتاب از اسامی رده‌بندی برای تعیین انواع خاک‌ها هر جا که لازم باشد استفاده می‌کنیم.

سوالات برای مطالعه

- ۱- افق‌های تشخیصی برای دسته بندی خاک‌ها در رده‌بندی خاک به کار می‌روند. تفاوت اساسی بین یک افق تشخیصی (مانند افق ارجلیک) و یک افق توارثی (مانند Bt1) را بیان کنید. یک نمونه ی صحرائی از یک افق تشخیصی که شامل چند افق توارثی است ارائه دهید.
- ۲- رابطه ی بین یک خاک انفرادی، یک پلی‌دون، یک پدون و یک زمین‌نما را بیان کنید.
- ۳- رسته‌های خاک زیرین را به ترتیب از کمترین تا بیشترین مقدار هوادیدگی مجدداً تنظیم کنید. اکسی‌سول، الفی‌سول، مولی‌سول و انسپتی‌سول.
- ۴- خصوصیات اصلی خاک که به وسیله ی آن التی‌سول‌ها از الفی‌سول‌ها و انسپتی‌سول‌ها از آنتی‌سول‌ها متمایز می‌گردند چه می‌باشد؟
- ۵- کلید داده شده در شکل ۹-۳ را برای تعیین رسته ی خاکی با خصوصیات زیر: یک افق اسپودیک در عمق ۳۰ سانتی‌متری، یخ‌بندان دائمی در عمق ۸۰ سانتی‌متر به کار برید، نوع رسته انتخاب شده را توضیح دهید.
- ۶- از ۵ عامل تشکیل خاک که در فصل ۲ مورد بحث قرار گرفت (ماده ی مادری، اقلیم، موجودات زنده، پستی و بلندی و زمان) دو عامل را انتخاب کنید که دارای تأثیر غالب در تکامل خصوصیات خاک مشخصه ی هر کدام از رسته‌های خاک می‌باشد: ورتی‌سول، مولی‌سول، اسپدوسول و اکسی‌سول.
- ۷- به کدام رسته ی خاک، هر یک از خاک‌های زیر تعلق دارند: پسامنت، اودول، ارجید، اودپت، فراجی اودالف، هاپلوستوکس و کالسی استرت؟
- ۸- در یک نام چه چیز موجود می‌باشد: تشریح خاکرخ فرضی و ارزیابی تناسب اراضی را برای یک خاک فرضی که در زیرگروه اکویک ارجی زرول قرار دارد انجام دهید.
- ۹- چرا گفته می‌شود که رده‌بندی خاک یک نظام طبقه‌بندی سلسله مراتب است؟
- ۱۰- نام طبقات رده‌بندی کلاس‌های طبقه‌بندی زیر را معلوم کرده و کاربرد مهندسی آن‌ها را مورد بحث قرار دهید. اکویک پالودولت، فراجی اودولت، هاپلواسترت، ساپریست و توربل.

و هنگامی که آن محصول رشد کرد و برداشت گردید
هیچ کس کلوخه‌ای داغ را با انگشتان خود خرد نکرد و خاک
نییخته‌ای از سر انگشتان خود گذر نداد.
خوشه‌های خشم: اثر جان اشتاین بک

فصل چهار

مهرازی خاک‌ها و خصوصیات فیزیکی آن‌ها

ویژگی‌های فیزیکی خاک در چگونگی ایفای نقش خاک در یک بوم‌سامان و نحوه‌ی انجام بهترین مدیریت در آن بسیار مؤثر است. موفقیت و یا شکست برنامه‌های کشاورزی و مهندسی اغلب وابسته به خصوصیات خاک به‌کارگرفته، می‌باشد. وجود و رشد بسیاری از گونه‌های گیاهی و حرکت آب و مواد حل‌شده در رو و در درون خاک در ارتباط نزدیک با خصوصیات فیزیکی خاک است. دانشمندان خاک، رنگ، بافت و سایر خصوصیات فیزیکی خاک را در طبقه‌بندی خاک‌رخ و تعیین تناسب خاک‌ها برای طرح‌های کشاورزی و زیست محیطی در محل مورد استفاده قرار می‌دهند. دانستن خصوصیات فیزیکی خاک نه تنها خود دارای ارزش عملی زیادی است، بلکه در فهم بسیاری از جنبه‌های خاک که در فصول بعد مورد ملاحظه قرار خواهند گرفت، به ما کمک می‌کند. خصوصیات فیزیکی که در این فصل مورد بحث قرار گرفته‌اند در ارتباط با ذرات جامد خاک و چگونگی تجمع آن‌ها می‌باشد. اگر خاک را همانند خانه‌ای تجسم کنیم ذرات جامد خاک همانند آجرهای ساختمان خواهند بود که از آن‌ها خانه ساخته شده است. بافت خاک اندازه‌ی ذرات آن را تشریح می‌کند. قطعات بزرگ‌تر کانی‌ها معمولاً به وسیله‌ی رس و سایر مواد کلوییدی در برگرفته شده و پوشش داده می‌شوند. جایی که ذرات کانی درشت غالب باشند، خاک سنگریزه‌ای و یا شنی بوده، و هنگامی کانی‌های کلوییدی غالب باشند خاک همانند رس خواهد بود. انواع دسته‌بندی‌ها در بین این دو حد در طبیعت یافت می‌شوند. در ساختن یک منزل روشی که قطعات ساختمانی در آن چیده می‌شوند سرشت دیوارها، اطاق‌ها و راهروها را مشخص خواهد کرد. ماده‌ی آلی همانند سیمان در بین ذرات انفرادی عمل نموده و تشکیل کلوخه و خاکدانه را سبب خواهد شد. ساختمان خاک چگونگی تجمع ذرات را مشخص می‌کند، بنابراین خصوصیت سرشت نظام منافذ و آبراهه‌های خاک را معلوم می‌کند. خصوصیات فیزیکی خاک که در این فصل مورد ملاحظه قرار می‌گیرند، به‌طور مستقیم سرشت بخش جامد خاک و تأثیر آن‌ها را بر آب‌وهوای خاک که در منافذ بین ذرات جامد قرار دارند تشریح می‌کنند. بافت خاک و ساختمان خاک با هم در تعیین توانایی عرضه‌ی عناصر غذایی ذرات جامد خاک و همچنین توانایی خاک در نگهداری و هدایت آب‌وهوای مورد نیاز فعالیت ریشه‌ی گیاه به ما کمک می‌کنند. این عوامل همچنین معلوم می‌کنند که وقتی خاک‌ها برای بزرگراه‌ها، ساختمان‌ها، منازل و پی‌ها به‌کار می‌روند و یا تحت عملیات خاک‌ورزی قرار می‌گیرند چگونه رفتار خواهند کرد. خصوصیات فیزیکی خاک در واقع با تأثیر در حرکت آب در داخل و بر روی خاک‌ها نقش قابل توجهی در تخریب آن‌ها از طریق فرسایش اعمال خواهند کرد.

۱-۴ رنگ خاک^۱

نخستین چیزی که احتمالاً در مورد خاک اطلاع می‌یابیم، رنگ آن است. رنگ خاک اثرات اندکی بر رفتار و استفاده خاک‌ها دارد. استثنای مهم این واقعیت است که خاک‌های تیره سطحی انرژی خورشیدی بیشتری از خاک‌های دارای رنگ روشن جذب کرده و بنابراین ممکن است زودتر گرم شوند.

دلیل اصلی مطالعه رنگ خاک این است که رنگ خاک مدارک با ارزشی از سرشت سایر خصوصیات و شرایط خاک به دست می‌دهد. به دلیل اهمیت تشریح صحیح رنگ خاک در طبقه‌بندی و ارزیابی خاک، یک نظام مقرر برای تشریح رنگ با استفاده از صفحات رنگ مونسل^۲ ابداع گردیده است (شکل ۱-۴). در این نظام، ذره‌ی کوچکی از خاک با قطعات کوچک رنگ استاندارد در دفترچه رنگ مونسل

^۱ - برای یک مجموعه عالی از مقالات در مورد علل و اندازه‌گیری‌های رنگ خاک به مقاله Cielkosz, Bigham ۱۹۹۳ مراجعه کنید.

^۲ - Munsell Color chart

مقایسه می‌گردد. هر قطعه رنگ به وسیله سه جزء رنگ تحت واژه‌های ۱- هیو^۱ (قرمز و یا زردیودن رنگ)، ۲- کروما^۲ (شدت رنگ و یا برافق رنگ، کرومای صفر خاکستری بی‌رنگ است) و ۳- ولیو^۳ (روشنی و یا تیرگی رنگ، ولیو صفر تیره می‌باشد) مشخص می‌شود. خاک دامنه‌ی وسیعی را از رنگ‌های قرمز، قهوه‌ای، زرد و حتی سبز (تابلوهای رنگی ۱۶ و ۱۹ را ملاحظه کنید) را شامل می‌شود. بعضی از خاک‌ها تقریباً سیاه و بعضی دیگر تقریباً سفید هستند. بعضی از رنگ‌های خاک خیلی روشن بوده و بعضی دیگر خاکستری تیره می‌باشند. رنگ خاک‌ها در زمین‌نما وقتی خاک‌های مجاور دارای رنگ‌های متفاوت در خاک سطحی باشند ممکن است محل به محل باهم فرق کنند. رنگ‌ها در افق‌های مختلف به‌طور مشخص در ارتباط با عمق در داخل پیکره خاک تغییر می‌کنند. در بسیاری از خاک‌ها افق‌های یک پیکره‌ی خاص دارای رنگ‌ها با هیو مشابه بوده اما کروما و ولیو تغییر می‌کند. حتی در یک افق و یا کلوخه خاک رنگ نقطه به نقطه متفاوت می‌باشد (تابلو رنگی ۵).

علل ایجاد رنگ خاک

بخش اعظم رنگ خاک از رنگ اکسیدهای آهن و مواد آلی که سطح ذرات خاک را می‌پوشاند ناشی شده است. پوشش مواد آلی سبب تیره شدن و یا پوشاندن رنگ‌های حاصل از اکسید آهن می‌شود (تابلو رنگی ۸). افق‌های زیرین با مواد آلی اندک اغلب و به‌طور بسیار آشکار رنگ اکسیدهای آهن مانند گوئیت زرد^۴، هماتیت قرمز^۵ و مگ هماتیت قهوه‌ای^۶ را به نمایش می‌گذارد. دیگر کانی‌ها که بعضی مواقع به خاک رنگ‌های مشخصی می‌دهند عبارتند از اکسید منگنز (رنگ سیاه) و گلوکونیت^۷ (رنگ سبز). کربنات‌ها مانند کلسیت، که به‌طور شاخص در خاک‌های مناطق نیمه‌خشک تجمع می‌کند ممکن است رنگ روشنی را بروز دهند.

تفسیر رنگ خاک

رنگ‌ها می‌توانند مطالب بسیاری درباره‌ی یک خاک به ما ارایه دهند و بنابراین استفاده‌ی گسترده‌ای از رنگ خاک در طبقه‌بندی خاک‌ها به‌عمل آمده است. رنگ‌ها اغلب برای تمیز افق‌های مختلف در خاک‌رخ به ما کمک می‌کنند. افق A به‌طور شاخص تیره‌تر و افق B روشن‌تر (و در بعضی مواقع قرمزتر) از افق‌های مجاور می‌باشند. در بعضی موارد رنگ یک استاندارد تشخیصی برای طبقه‌بندی می‌باشد. برای مثال یک اپی‌پدون مالیک (خصوصیات خاک‌های چمن‌زارها، فصل سوم را برای تعاریف مشاهده کنید) چنین تعریف شده است که: دارای رنگی چنان تیره باشد که ولیو و کرومای آن در حالت مرطوب ۳ و کمتر باشد (قسمت پایین نیمه چپ دفترچه‌ی رنگ و یا گوشه‌ی تیره رنگ). مثال دیگر زیرگروه‌های رودیک از رده‌های به‌خصوص خاک است که دارای یک افق B با رنگ‌های خیلی قرمز با هیوین 2.5 YR (قرمزترین YRها) و 10R (قرمزترین هیو در دفترچه رنگ مونسل) باشد. رنگ همچنین می‌تواند اطلاعات کیفی در مورد وضعیت رطوبت خاک به‌دست دهد. خاک‌های خشک معمولاً دارای رنگ روشن‌تر از خاک‌های مرطوب می‌باشند.

از آن‌جاکه تغییرات رنگ به‌خاطر اکسایش و احیای کانی‌های دارای اکسید آهن صورت می‌گیرد رنگ خاک می‌تواند اطلاعات با ارزشی از رژیم آب‌شناسی و زه‌کشی یک خاک به‌دست دهد. رنگ‌های درخشان (کرومای زیاد) در سرتاسر خاک‌رخ نشانه‌ی خاک‌های دارای زه‌کشی خوب است که از داخل آن‌ها آب به آسانی عبور می‌کند و تهویه آن‌ها مناسب می‌باشد. شرایط غیرهوازی طولانی سبب می‌شود که پوشش اکسیدهای آهن از نظر شیمیایی احیاء شوند و کرومای زیاد (قرمز و یا قهوه‌ای) به کرومای پایین (خاکستری آبی و یا خاکستری سبز) تغییر کند، شرایطی که به آن گلی^۸ گفته می‌شود (تابلو رنگی شماره ۲۰). حضور گلی (کرومای پایین) در لایه‌های فوقانی، چه به‌تنهایی و چه مخلوط با رنگین دانه‌ها^۹ با رنگ‌های درخشان‌تر (تابلوهای رنگی ۱۸ و ۱۹ را مشاهده کنید) در تعیین محدوده اراضی ماندابی به‌کار می‌رود زیرا بیانگر شرایط ماندابی حداقل در طول بخش عمده‌ای از فصل رشد نبات می‌باشد (بخش ۸-۷ را مشاهده کنید) عمقی از خاک‌رخ که در آن رنگ‌های گلی یافت می‌شود برای تعیین کلاس زه‌کشی خاک به ما کمک می‌کند (شکل ۲-۱۹ را ملاحظه کنید).

¹ - Hue

² - Chroma

³ - Value

⁴ - Goethite

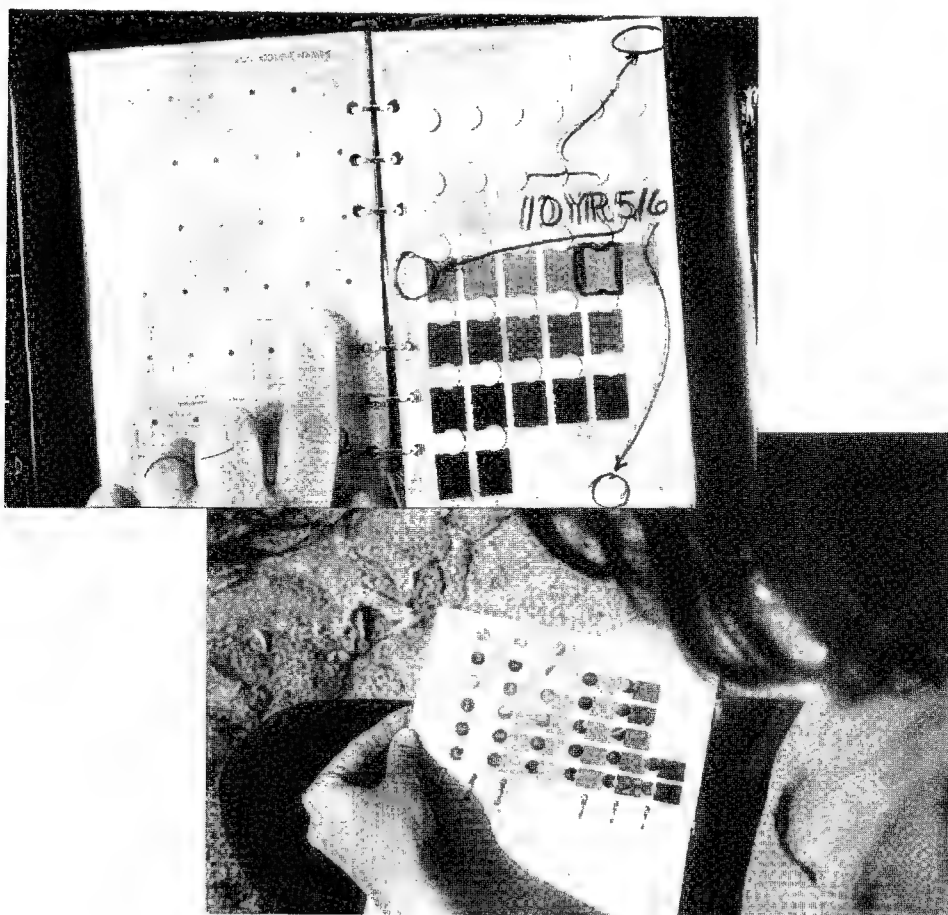
⁵ - Hematite

⁶ - Maghemite
Glauconite

⁸ - Gcl

⁹ - Mottling

یک نظریه غلط در مورد رنگ خاک این است که رابطه‌ی پایدار بین رنگ خاک و بافت خاک (بخش ۲-۴ را مشاهده کنید) وجود دارد. برای مثال مردم مناطق گرم اغلب از «رسم قرمز» صحبت می‌کنند، اما رنگ قرمز ضرورتاً بیانگر خاک‌های رسی نیست، مواد خیلی شنی همچنین به دلیل پوشش ذرات شن به وسیله‌ی کانی‌های آهن اغلب دارای رنگ قرمز می‌باشند (تابلوی رنگی ۱۰ را مشاهده کنید). در پایان به‌جا خواهد بود که اشاره کنیم که، خاک‌ها با رنگ‌های مشخص مهم‌ترین عضو زیباشناسی یک چشم‌انداز هستند. برای مثال رنگ‌های قرمز گرم ویژگی بارز بسیاری از چشم‌اندازهای گرمسیری و شبه‌گرمسیری است، در صورتی که رنگ‌های خاکستری تیره و قهوه‌ای مشخص‌کننده‌ی مناطق سردتر و معتدل‌تر می‌باشند. بنابراین، یک نفر بومی ایالت جورجیا احتمالاً دارای تصویر ذهنی متفاوتی از خاک در مقایسه با یک شخص در ایالت نیویورک می‌باشد.



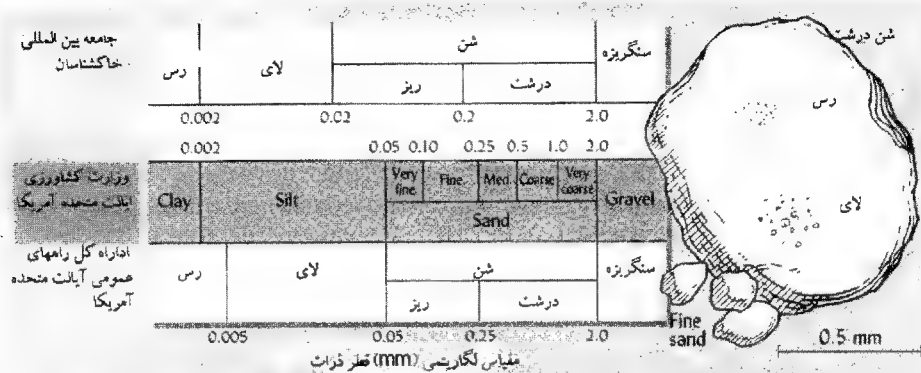
شکل ۱-۴ تعیین رنگ خاک با مقایسه آن با قطعات رنگ در دفترچه رنگ مونس، هر صفحه نشان‌دهنده هیوی متفاوتی بوده که از 5R (قرمز) تا 5Y (زرد) تغییر می‌کند. در یک صفحه رنگ‌ها با ولیو بالاتر (سفیدتر) نزدیک به بالای دفترچه و رنگ‌ها با ولیو کمتر (سیاهتر) نزدیک پایین دفترچه می‌باشند. رنگ‌ها با کرومای بالاتر (درخشان‌تر) نزدیک دست راست دفترچه بوده و رنگ‌ها با کرومای خاکستری مات در سمت چپ قرار دارد. تشریح رنگ مونس کامل خاک در عکس 10YR 5/6 (قهوه‌ای زرد)، در حالت مرطوب می‌باشد.

۲-۴ بافت خاک (توزیع اندازه‌ی ذرات خاک)

به‌نظر می‌رسد که اندازه ذرات کانی‌ها در خاک بسیار پیش‌پاافتاده بوده و درخور توجه نباشد، با وجود این آگاهی از نسبت ذرات با اندازه‌های مختلف در خاک (بافت خاک) برای درک رفتار خاک‌ها و مدیریت آن‌ها حیاتی می‌باشد. وقتی خاک در یک محل مورد تحقیق قرار می‌گیرد، بافت افق‌های مختلف اغلب اولین و مهم‌ترین خصوصیت خاکی است که باید تعیین گردد، زیرا خاک‌شناس می‌تواند نتایج بیشماری از این اطلاعات به‌دست آورد. به‌علاوه بافت خاک در مزرعه دچار تغییر نمی‌شود بنابراین به‌عنوان یک خصوصیت اساسی مورد ملاحظه قرار می‌گیرد.

سرشت اجزای مختلف خاک

قطر ذرات خاک از تخته‌سنگ‌ها (با قطر یک متر) تا رس‌های میکروسکوپی (با قطر کمتر از 10^{-6} متر) در بیشتر از ۶ مرتبه‌ی بزرگی متفاوت می‌باشد. دانشمندان این ذرات را در دسته‌های جداگانه‌ای همان‌طور که در شکل ۲-۴ نشان داده شده است، براساس چندین نظام طبقه‌بندی می‌کنند. طبقه‌بندی پیشنهادشده به‌وسیله‌ی وزارت کشاورزی آمریکا در این کتاب مورد استفاده می‌باشد. دامنه تغییرات اندازه‌ی این دسته‌های جداگانه صرفاً فرضی نیست، بلکه بیانگر تغییراتی عمده در چگونگی رفتار این ذرات و خصوصیات فیزیکی خاک می‌باشد.



شکل ۲-۴ طبقه‌بندی ذرات خاک بر حسب اندازه‌ی آن‌ها. بخش وسط نظام وزارت کشاورزی آمریکا را نشان می‌دهد که به‌طور گسترده‌ای در سراسر دنیا کاربرد دارد. این نظام در کتاب حاضر مورد استفاده می‌باشد. دو نظام دیگر به‌طور گسترده به‌وسیله‌ی دانشمندان علوم خاک و مهندسان جاده‌سازی مورد استفاده می‌باشد. نقاشی‌های ذرات اندازه آن‌ها را مشخص می‌کند.

ذرات درشت‌تر از ۲ میلی‌متر چسبندگی و خاکدانه‌سازی اندکی در ماتریکس خاک از خود بروز می‌دهند، حضور مقادیر کافی از این قطعات درشت^۱ (سنگریزه، قلوه سنگ، تخته سنگ و...) ممکن است در رفتار یک خاک مؤثر باشند اما جزو ذرات ریز خاک^۲ که واژه بافت خاک در مورد آن مصداق دارد به حساب نمی‌آیند. اثر عمده قطعات درشت کاهش حجم قابل استفاده خاک برای حرکت هوا و آب و ریشه‌ها می‌باشد، قطعات سنگی درشت‌تر به‌خصوص اگر از کانی‌های سختی مانند کوارتز تشکیل شده باشند معمولاً موانعی در مقابل عملیات خاک‌ورزی ایجاد می‌کنند.

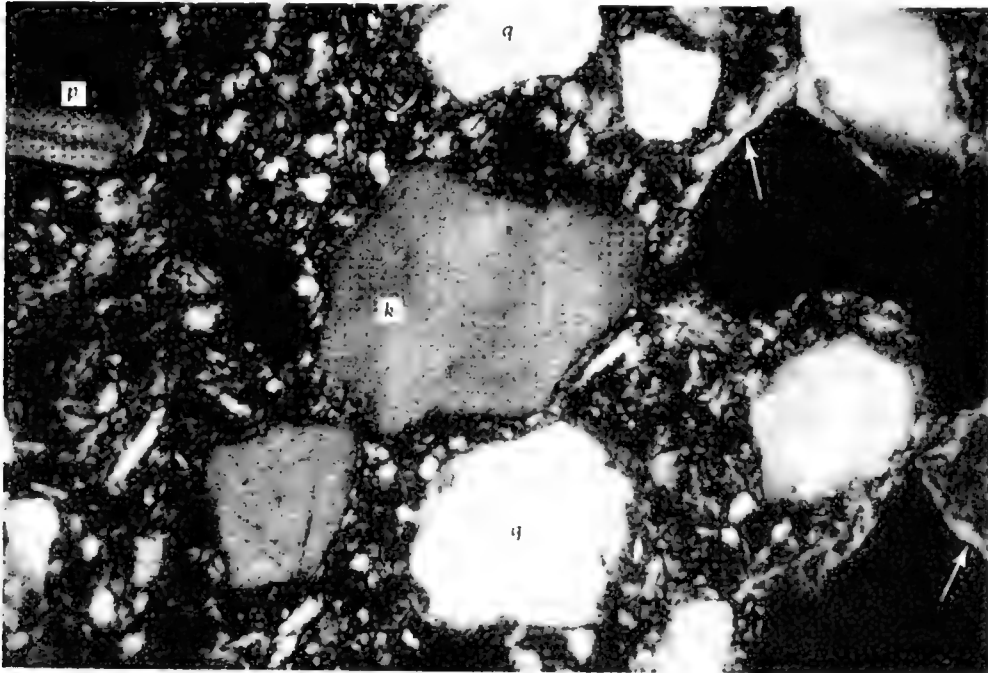
شن: شن به‌عنوان ذرات کوچک‌تر از ۲ میلی‌متر اما درشت‌تر از 0.075 میلی‌متر تعریف شده‌اند. ذرات شن بر حسب میزان فرسایش آن‌ها بر اثر فرایندهای ساییدگی در طول خاک‌سازی ممکن است، گرد یا زاویه‌دار (شکل ۳-۴) باشند. ذرات شن ممکن است قطعات سنگی که شامل کانی‌های مختلف است، باشند. اما اکثر ذرات شن از یک کانی معمولاً کوارتز و یا سایر سیلیکات‌های اولیه تشکیل شده‌اند (شکل ۴-۴). ذرات شن ممکن است به‌علت پوشش اکسیدهای آهن و آلومینیوم قهوه‌ای، زرد و قرمز به‌نظر برسند. در حال غلبه کوارتز به‌معنی این است که بخش شن در کل دارای عناصر غذایی کمتری از بخش ریزتر می‌باشند.

ذرات شن در صورت مالش در بین انگشتان احساس زیری را القا می‌کنند و معمولاً با چشم غیر مسلح قابل مشاهده می‌باشند (شکل ۴-۴). از آنجا که ذرات شن درشت می‌باشند، منافذ خالی بین آن‌ها نیز نسبتاً درشت بوده و امکان زه‌کشی آزاد آب و ورود هوا را به‌داخل خاک افزایش می‌دهد. رابطه‌ی بین اندازه ذرات و سطح مخصوص (سطح مخصوص در حجم و یا جرم ذرات) در شکل ۶-۶ نشان داده شده است. به‌خاطر اندازه‌ی بزرگ، ذرات شن دارای سطح مخصوص نسبتاً کمی می‌باشند. بنابراین، ذرات شن قادر به نگهداری آب کمی هستند و خاک‌هایی که شن در آن‌ها غالب است در معرض خشکسالی قرار می‌گیرند. ذرات شن غیرچسبنده بوده و این بدان معنی است که تمایل ندارند در یک توده به‌همدیگر بچسبند (شکل ۹-۴ را مشاهده کنید).

لای: ذرات کوچک‌تر از 0.075 میلی‌متر اما درشت‌تر از 0.002 میلی‌متر تحت عنوان لای^۳ طبقه‌بندی شده‌اند. ذرات جداگانه لای نه با چشم غیرمسلح قابل مشاهده بوده (شکل ۵-۴ را مشاهده کنید) و نه دارای احساس زیری هنگام مالش در بین انگشتان دست می‌باشند. این ذرات

^۱ - Coarse fragments
^۲ - Fine earth fraction
^۳ - Silt

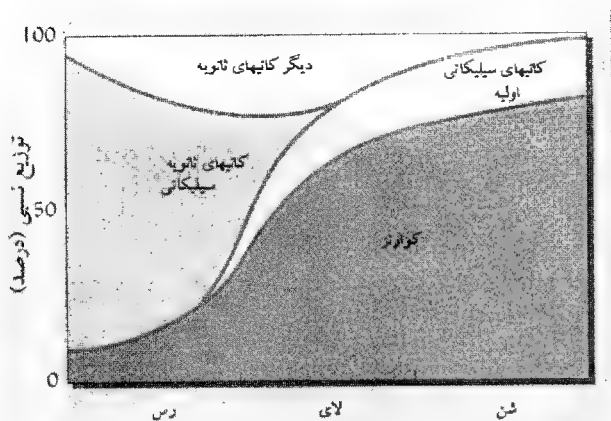
معمولاً ذرات بسیار ریز شن می‌باشند و کوارتز کانی غالب آن‌ها است. وقتی که لای از کانی‌های قابل هوادیدگی تشکیل شده باشد، اندازه‌ی کوچک ذرات امکان می‌دهد که هوادیدگی به سرعت برای آزاد کردن مقادیر کافی عناصر غذایی نبات پیشرفت کند.



شکل ۳-۴ (بالا) برش نازک از یک خاک لومی، همان‌طور که از داخل میکروسکوپ با استفاده از نور قطبی (منافذ خالی سیاه به نظر می‌رسد) دیده می‌شوند. ذرات شن ولای نشان داده هر دو در اندازه و شکل نامنظم می‌باشند. ذره‌ی لای کوچک‌تر است. اگرچه کوارتز (q) در بخش‌های شن ولای غالب می‌باشد. چندکانی سیلیسی دیگر را می‌توان دید (p) پلاژیوکلاز و k فلدسپار. لایه رسی را می‌توان دید پیکان که دیواره‌ی منافذ درشت را پوشانده است. عکس‌های الکترونی ریزین، از ذرات شن نشان‌دهنده‌ی کوارتز (سمت چپ پایین عکس) و ذره‌ی فلدسپات (سمت راست پایین عکس) می‌باشد که ۴۰ بار بزرگ شده است.

گرچه لای از ذراتی مشابه با شن تشکیل شده است، از آن حالتی، صاف و ابریشم مانند مشابه با آرد احساس می‌شود. منافذ بین ذرات لای بسیار کوچک‌تر (و بسیار متعددر) از منافذ بین شن می‌باشند. بنابراین لای آب بیشتری نگهداری کرده و امکان کمی برای زهکشی آنرا

فراهم می‌کند هرچند در حالت خیزی نیز چسبندگی و شکل‌پذیری (قابلیت انعطاف)^۱ کمی از خود نشان می‌دهد. شکل‌پذیری و هم‌چسبی (چسبندگی) و ظرفیت جذب کمی که برخی خاک‌های لای‌دار از خود نشان می‌دهند عمدتاً به‌خاطر یک لایه رس چسبیده بر روی آن‌هاست. به‌خاطر چسبندگی و شکل‌پذیری کم آن‌ها خاک‌های لای‌دار به آسانی به‌وسیله آب جاری در فرایندی به اسم رگاب (جوشش شن)^۲ شستشو می‌شوند. تابلو ۴-۱ مراحل جوشش شن را تشریح نموده و اهمیت تشخیص بین لای ورس را روشن می‌کند.



شکل ۴-۱ رابطه کلی بین اندازه ذرات و انواع کانی‌های موجود. کوارتز در بخش‌های شن ولای غالب می‌باشد. کانی‌های سیلیکاتی اولیه، مانند فلدسپات، هورنبلند و میکا در بخش شن و به مقدار کمی در بخش لای حضور دارند. سیلیکات‌های ثانویه در بخش رس غالب می‌باشند. سایر کانی‌های ثانویه مانند اکسیدهای آهن و آلومینیوم در لای ریز و رس درشت غالب می‌باشند.

رس: ذرات کوچک‌تر از 0.002 میلی‌متر تحت عنوان رس طبقه‌بندی شده و دارای سطح مخصوص بسیار بالایی می‌باشند که به‌خاطر آن ظرفیت فوق‌العاده‌ای برای جذب آب و سایر مواد غذایی را دارند. یک قاشق پر از رس ممکن است دارای سطحی در حد یک زمین فوتبال باشد (بخش ۱-۸ را مشاهده کنید) این سطح بزرگ جذبی سبب می‌شود که ذرات رس به‌دنبال خشک شدن به‌صورت یک توده سخت به‌هم‌دیگر بچسبند. وقتی خاک خیس باشد چسبیده بوده و به آسانی تغییر شکل می‌دهد.

اندازه ذرات رس چنان ریز است که مشابه کلویید عمل می‌کنند یعنی اگر در آب به‌صورت تعلیق درآیند به آسانی ته‌نشین نمی‌شوند. برخلاف اکثر ذرات شن و لای، ذرات رس بیشتر همانند پوسته‌های نازک و یا صفحات کوچک می‌باشند. منافذ بین ذرات رس بسیار کوچک و کج و معوجند. بنابراین حرکت آب و هوا در آن‌ها بسیار کند می‌باشد. هر کانی رس خاص (فصل ۸ را مشاهده کنید) به خاک ویژه‌ای که در آن غالب می‌باشد خصوصیات به‌خصوصی را اعطاء می‌کند. بنابراین، خصوصیات خاک مانند انقباض و انبساط یا شکل‌پذیری، ظرفیت نگهداری آب، مقاومت خاک و جذب شیمیایی در ارتباط با نوع رس موجود، و همین‌طور مقدار آن می‌باشد.

تأثیر سطح ذرات بر سایر ویژگی‌های خاک

وقتی اندازه ذرات کاهش می‌یابد، سطح مخصوص و خصوصیات مربوطه همان‌طور که در شکل ۷-۴ به‌طور ترسیمی نشان داده شده است به‌مقدار زیادی افزایش می‌یابد، رس کلوییدی ریز حدود 10000 برابر شن متوسط با همان وزن دارای سطح می‌باشد. بافت خاک در بسیاری از خصوصیات دیگر خاک از راه‌های بسیار زیادی در اثر ۵ پدیده سطحی اساسی زیر تأثیرگذار است (جدول ۱-۴ را مشاهده کنید).

۱- آب در داخل خاک به‌صورت لایه‌های نازکی بر روی سطح ذرات باقی می‌ماند، هر چه سطح ذرات خاک بزرگ‌تر باشد ظرفیت نگهداری آب خاک بیشتر است.

۲- گازها و مواد شیمیایی حل شده هر دو به سطح جامدات تمایل پیدا کرده و جذب می‌شوند. هر چه سطح بیشتر باشد ظرفیت خاک برای نگهداری عناصر غذایی بیشتر است.

۳- هوا دیدگی در سطح ذرات کانی انجام می‌گرفته و عناصر جایگزین به‌داخل خاک آزاد می‌شوند. هر چه سطح بیشتر باشد میزان آزاد سازی عناصر غذایی از کانی‌های قابل هوادهی بیشتر می‌باشد.

۴- سطح ذرات کانی اغلب دارای بارهای منفی و مقداری بارهای مثبت الکترومغناطیسی است به‌طوری‌که سطوح ذرات و لایه‌های آب بین آن‌ها تمایل دارند که هم‌دیگر را جذب کنند (فصل ۷-۴ را مشاهده کنید). هر چه سطح ذرات بیشتر باشد تمایل طبیعی ذرات برای چسبیدن به‌هم‌دیگر در یک توده‌ی چسبیده و یا به‌صورت خاکدانه‌های جداگانه بیشتر است.

¹ - Plastic-Malleable

² - Piping

۵- موجودات ذره‌بینی خاک تمایل دارند که بر روی سطوح ذرات رشد نموده و جوامع خود را گسترش دهند. به این دلیل و دلایل دیگر واکنش میکروبی در خاک تا حد زیادی تحت تأثیر سطح مخصوص آن است.

جدول ۱-۴ تأثیر کلی ذرات اجزای خاک بر بعضی از خصوصیات و رفتار خاک‌ها (الف)

خصوصیات و رفتار	شن	لای	رس
ظرفیت نگهداری آب	کم	متوسط تا زیاد	زیاد
تهویه	خوب	متوسط	ضعیف
سرعت زه‌کشی	سریع	آرام، متوسط	خیلی آرام
میزان ماده‌ی آلی	کم	متوسط تا زیاد	زیاد تا متوسط
تجزیه‌ی ماده‌ی آلی خاک	سریع	متوسط	آرام
گرم‌شدن در بهار	سریع	متوسط	آرام
تراکم‌پذیری	کم	متوسط	زیاد
حساسیت به فرسایش بادی	متوسط (شن ریز زیاد)	بالا	کم
حساسیت به فرسایش آبی	پایین (شن ریز زیاد)	بالا	خاکدانه‌ای کم
پتانسیل انقباض و انبساط	خیلی کم	کم	متوسط تا خیلی زیاد
پوشش استخرها، سدها و اراضی خاک‌ریزی شده	ضعیف	ضعیف	خوب
تناسب برای خاک‌ورزی به دنبال باران	بالا	متوسط	کم (ترک‌دار زیاد)
انرژی آب‌شویی آلاینده‌ها	بالا	متوسط	کم (مگر ترک‌دار)
توانایی ذخیره‌ی عناصر غذایی	ضعیف	متوسط تا زیاد	زیاد
مقاومت به تغییرات pH	کم	متوسط	زیاد



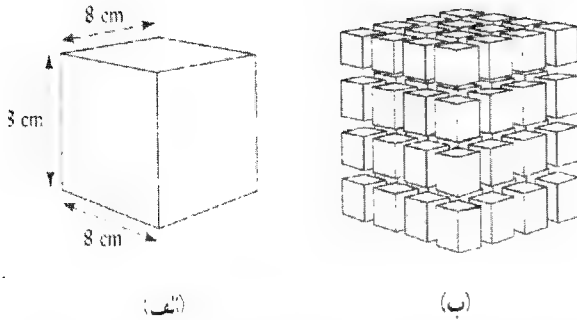
(الف)

(ب)



شکل ۵-۴ جداکردن ذرات خاک بر اساس اندازه آن‌ها در هنگام ته‌نشینی. خاک داخل استوانه در اثر به‌هم‌زدن به‌صورت تعلیق در می‌آید و سپس در معرض ته‌نشینی قرار می‌گیرد. بعد از حدود یک دقیقه ذرات شن ته‌نشین شده و میزان لای و رس در محلول تعلیق با قراردادن یک هیدرومتر غوطه‌ور در آن تعیین می‌گردد (الف). بعد از حدود یک روز رس در محلول تعلیق باقی می‌ماند و شن ولای در کف سیلندر لایه‌ای ایجاد کرده‌اند (ب). مرز بین ذرات شن ولای می‌تواند به‌وسیله‌ی خطی که روی آن ذرات با چشم قابل رؤیت نبوده و در زیر آن ذرات قابل رؤیت می‌باشند تعیین گردد.

شکل ۶-۴ رابطه کلی بین سطح یک توده و اندازه ذرات آن. در مکعب بزرگ (الف) سطح هروچه ۶۴ سانتی‌متر مربع است و مساحت کل هر ۶ وجه آن ۳۸۴ سانتی‌متر مربع خواهد شد. اگر مکعب به مکعب‌های کوچک‌تری تقسیم گردد (ب) به‌طوری‌که طول هر ضلع آن ۲ سانتی‌متر گردد ۶۴ مکعب کوچک حاصل خواهد شد که باتوجه به مساحت هر وجه آن‌ها (۴ سانتی‌متر مربع) و مساحت کل هر مکعب کوچک یعنی ۲۴ سانتی‌متر مربع مساحت کل مکعب‌های کوچک ۱۵۳۲ سانتی‌متر مربع خواهد شد که ۴ برابر مساحت مکعب بزرگ می‌باشد. از آن‌جاکه ذرات رس بسیار ریز بوده و اغلب دارای شکل صفحه‌ای می‌باشند مساحت آن‌ها هزاران بار از ذرات شن در جرم برابر بزرگ‌تر است.

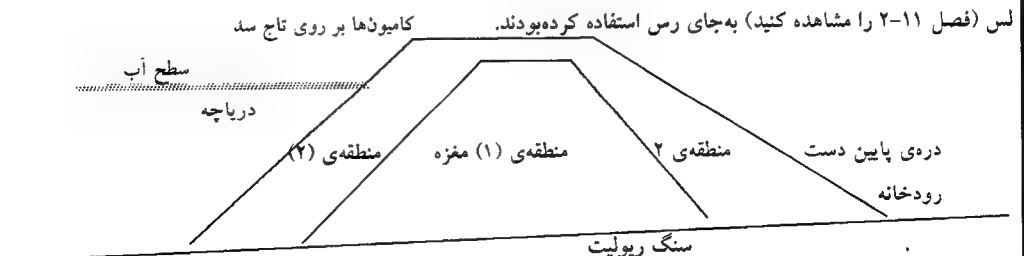


تابلو ۱-۴ لای و فرو ریختن سد تیتان

یکی از غم‌بارترین و پرهزینه‌ترین رخدادهای تاریخ مهندسی آمریکا در پنجم ژوئن ۱۹۷۷، کمتر از یک‌سال بعد از اتمام عملیات ساختمانی یک سد بزرگ خاکی بر روی رودخانه تیتان در ایالت ایداهو اتفاق افتاد ۱۱ نفر کشته شدند و ۲۵۰۰۰ نفر طی ۵ ساعت که دریاچه‌ی سد با طول ۲۸ کیلومتر تخلیه گردید بی‌خانمان شدند. حدود ۴۰۰ میلیون دلار (با نرخ ۱۹۷۷) خسارت با فروپاشی سد و دره‌ی پایین دست به‌وسیله‌ی دیواره‌ی عظیم از آب خروشان به بارآمد. سد بدون کوچک‌ترین اختطار، با تبدیل نشست بسیار کوچک به جریان سیل بسیار عظیمی فرو ریخت و مجموعه‌ای از بولدزها، که برای مرمت اعزام شده بودند، چارو شدند.

سد تیتان بر اساس یک طرح استاندارد آزمون شده‌ی زمانی در سدهای لایه‌بندی شده خاکی ساخته شد^۱. اساساً بعد از آماده‌کردن شالوده‌ای در سنگ ریولیت در زیر خاک، یک مغزه^۲ (منطقه‌ی یک) از مواد خاکی متراکم شده ساخته شد و به‌وسیله‌ی یک لایه درشت‌تر از مواد آبرفتی (منطقه ۲) برای محافظت آن در مقابل فرسایش آبی و بادی پوشانده شد.

هدف این است که مغزه از اندوهدی نفوذناپذیری که از نشست آب از داخل سد ممانعت کند تشکیل شده باشد. معمولاً مواد رسی برای مغزه انتخاب می‌شوند، زیرا خصوصیات چسبندگی و شکل‌پذیری رس مرطوب به آن امکان می‌دهد که به‌صورت یک توده‌ی متراکم شکل‌پذیر یک‌پارچه درآید، که تا مادامی‌که مرطوب است ترک بر نمی‌دارد. از طرف دیگر لای در مزرعه گرچه همانند رس به‌نظر می‌رسد اما فاقد چسبندگی و شکل‌پذیری، و یا دارای چسبندگی و شکل‌پذیری اندکی می‌باشد و بنابراین به‌صورت یک توده‌ی چسبنده همانند رس متراکم نمی‌شود. در واقع یک توده‌ی مرطوب لای متراکم بعد از نشست به‌دلیل نبود شکل‌پذیری در آن ترک بر می‌دارد. اگر آب از داخل این ترک‌ها نشست کند، لای به‌سرعت بر اثر جریان آب جاری به خارج شسته شده و سبب بزرگ‌تر شدن ترک و فرا خواندن آب بیشتر به داخل ترک و آبشویی لای بیشتری می‌شود. این فرایند بزرگ‌شدن مسیر نشست، رگاب (جوشش شن) و یا غل زدن^۳ نامیده می‌شود. این فرایند مطمئناً علت اصلی فرو ریختن سد تیتان بوده است. مهندسی که منطقه (۱) را ساخته‌اند از رسوبات بادهشته به اسم

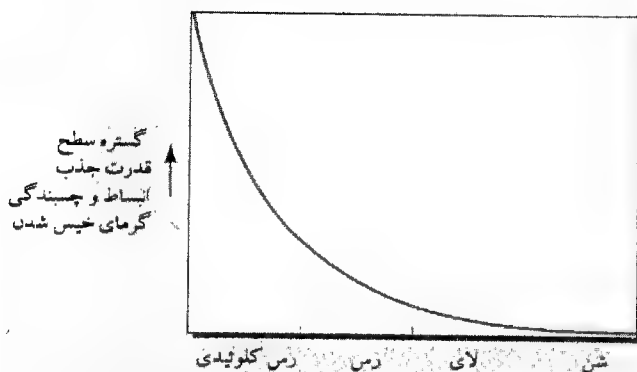


این حادثه‌ی غم‌بار درس مفیدی از اهمیت بافت در تعیین رفتار خاک می‌باشد.

۱ - Time tested design for zoned earth-fill embankments

۲ - Core

۳ - Piping



شکل ۷-۴ هرچه بافت خاک ریزتر باشد، سطح مؤثری که به وسیله ذرات آن آشکار می‌شود بیشتر می‌باشد توجه کنید که جذب، انبساط و سایر خصوصیات خاک همان روند کلی را دنبال نموده و شدت آن‌ها با رسیدن ذرات به اندازه کلوئیدی به سرعت افزایش می‌یابد.

۳-۴ کلاس‌های بافت خاک

سه گروه بزرگ از کلاس‌های بافت خاک مشخص شده‌اند که عبارتند از خاک‌های شنی، خاک‌های لومی و خاک‌های رسی. در داخل هر یک از این گروه‌ها اسامی کلاس‌های بافت خاک بیانگر توزیع اندازه‌ی ذرات و سرشت کلی خصوصیات فیزیکی خاک می‌باشند. ۱۲ کلاس بافت که در جدول ۲-۴ نام‌گذاری شده‌اند یک توالی تدریجی از شن‌ها با بافت درشت و سهولت مدیریت را تا رس‌های بسیار ریز که مدیریت فیزیکی آن‌ها مشکل است تشکیل می‌دهند.

در کلاس‌های بافت شن^۱ و شن لومی^۲، خصوصیات شن غالب است. بخش شن حداقل ۷۰ درصد وزنی خاک را تشکیل می‌دهد (کمتر از ۱۵ درصد خاک رس می‌باشد). خصوصیات رس به‌طور شاخص در بافت‌های رس^۳، رسی شنی^۴ و رسی سیلتی^۵ غالب می‌باشند.

خاک‌های لومی: گروه سوم شامل تقسیمات فرعی بسیاری می‌باشد. یک لوم آرمانی ممکن است به‌صورت مخلوطی از ذرات شن، لای و رس تعریف شود که خصوصیات این بخش‌ها را تقریباً به‌طور یکسان بیانگر باشد. این تعریف به این مفهوم نیست که در خاک لوم هر سه بخش در مقادیر یکسان وجود دارند (مطالعه‌ی دقیق شکل ۸-۴ این مطلب را روشن خواهد کرد). این امر ناآشناست به این خاطر است که درصد کمتری از رس لازم است که خواص بخش رس را در خاک ایجاد کند. در صورتی که مقادیر کمتر شن ولای اثر کمتری بر رفتار خاک خواهند داشت. بنابراین، نام رسی با حداقل ۲۰ درصد رس در نام کلاس‌های بافت خاک به‌کار برده می‌شود، اما برای این که یک تغییردهنده‌ی شنی و یا سیلتی به‌کار برده شود، خاک باید حداقل ۴۰ و یا ۴۵ درصد از این بخش‌ها را به‌ترتیب داشته باشد.

بیشتر خاک‌ها نوعی از بافت لوم می‌باشند. آن‌ها ممکن است ترکیبی آرمانی از نسبت‌های مساوی خصوصیات بخش‌ها را که در بالا تشریح گردید، داشته باشند و به اسامی تحت کلاس لوم طبقه‌بندی شوند. بنابراین، خاک لوم، که در آن بخش شن غالب است تحت نام لوم شنی طبقه‌بندی می‌شود. به همین ترتیب لوم سیلتی^۶، لوم رسی سیلتی، لوم رسی شنی و لوم رسی طبقه‌بندی می‌شوند.

اجزای درشت تغییردهنده‌ی نام بافت

برای بعضی از خاک‌ها عوامل کیفی مانند سنگ، سنگریزه و درجات مختلف شن قسمتی از نام کلاس بافت را تشکیل می‌دهند. اجزایی که دارای ۲ تا ۷۵ میلی‌متر در بزرگ‌ترین قطر خود می‌باشند سنگ‌ریزه (ریگ)^۷ و یا خرده‌سنگ^۸ نامیده می‌شوند. آن‌هایی که از ۷۵ تا ۲۵۰ میلی‌متر متغیر می‌باشند اگر گرد شده باشند قلوه‌سنگ^۹، و اگر مسطح باشند قطعه‌سنگ^{۱۰} نامیده می‌شوند. قطعاتی که دارای قطر بیش از ۲۵۰ میلی‌متر باشند تخته‌سنگ^{۱۱} و یا گنده‌سنگ^{۱۲} نامیده می‌شوند. لوم شنی ریز قلوه‌سنگی^{۱۳} نمونه‌ای از کلاس بافت تغییر یافته می‌باشد.

1 - Sand

2 - Loamy Sand

3 - Clay

4 - Sandy Clay

5 - Silty Clay

6 - Silty loam

7 - Gravel

8 - Pebbel

9 - Cobble

10 - Flag

11 - Stone

12 - Boulder

13 - Cobbly fine sandy loam

تغییر کلاس‌های بافت خاک

طی زمان‌های طولانی، فرایندهای خاک‌شناسی (فصل ۲ رامشاده کنید) مانند فرسایش، ته‌نشست، آبشویی و هوادیدگی می‌توانند بافت افق‌های مختلف خاک را تغییر دهند. هرچند عملیات مدیریتی معمولاً بافت کلاس خاک را در مقیاس مزرعه تغییر نمی‌دهند. بافت یک خاک خاص فقط با مخلوط کردن آن با خاک دیگر که دارای کلاس بافت متفاوت است تغییر می‌کند. برای مثال مخلوط کردن مقادیر زیاد شن برای تغییر خصوصیات فیزیکی یک خاک رسی جهت استفاده در گلدان و یا برای چمن‌چینی تغییر را به بار می‌آورد. هرچند وقتی موقعیت‌ها (مثلاً در طراحی اراضی) به یک کلاس بافت خاص نیازمند باشد، مصلحت این است که به جای تلاش در تغییر کلاس بافت خاک با مخلوط کردن شن و رس، یک خاک طبیعی پیدا کنیم که این نیازها را برآورده کند^۱.

همچنین باید توجه کرد که اضافه کردن پیت و یا کمپوست به یک خاک و مخلوط کردن آن با خاک‌های گلدان تغییری در بافت خاک ایجاد نمی‌کند زیرا این خصوصیت فقط مربوط به ذرات معدنی است. اطلاق واژه‌ی بافت خاک به مواد مصنوعی که عمدتاً شامل پرلیت^۲، پیت^۳ و یا استیروفوم^۴ و سایر مواد غیرخاکی است مصداق ندارد.

تعیین کلاس بافت به وسیله‌ی روش لمس کردن

تعیین بافت خاک یکی از مهارت‌های صحرایی است که دانشمند خاک باید در خود ایجاد کند. تعیین کلاس بافت یک خاک به وسیله‌ی لمس کردن آن در مطالعات خاک‌شناسی، طبقه‌بندی و هر تحقیقی که در آن بافت خاک نقشی ایفا می‌کند دارای ارزش عملی زیادی می‌باشد. نتیجه‌ی درست تا حد زیادی در ارتباط با تجربه می‌باشد؛ بنابراین هر جا توانستید این کار را تجربه کنید و کار را با خاک‌هایی که دارای بافت مشخصی می‌باشند برای واسنجی انگشتان خود شروع کنید.

مثلاً بافت خاک را (شکل ۸-۴) در هنگام تعیین بافت خاک به وسیله‌ی روش لمس کردن همان‌طور که در تابلو ۲-۴ تشریح شده است باید در خاطر داشته باشید.

تجزیه‌ی آزمایشگاهی اندازه‌ی ذرات

نخستین و در بعضی مواقع دشوارترین مرحله در تجزیه‌ی اندازه ذرات پراکنده کردن کامل نمونه‌ی خاک در آب می‌باشد. به‌طوری‌که کوچک‌ترین گروه نیز به ذرات اولیه‌ی جداگانه تفکیک و تبدیل شوند. پراکندگی معمولاً با استفاده از مواد شیمیایی همراه با به هم‌زن‌های دارای سرعت بالا و یا دستگاه‌های تولید امواج ماوراء صوت صورت می‌گیرد.

درحالی‌که مجموعه‌ای از الک‌ها برای جدا کردن شن مورد استفاده قرار می‌گیرد، برای تعیین مقدار رس و لای روش ته‌نشینی مورد استفاده می‌باشد. اصول این روش آسان است، از آن‌جاکه ذرات خاک بسیار سنگین‌تر از آب می‌باشند تمایل دارند در آب غوطه‌ور شده و با سرعتی که متناسب با اندازه‌ی آن‌هاست ته‌نشین شوند. به عبارت دیگر هر چه آن‌ها درشت‌تر باشند، سریع‌تر ته‌نشین گردند. به معادله‌ای که این رابطه را تشریح می‌کند قانون استوکس اطلاق می‌شود. معادله‌ی کامل در تابلو ۳-۴ ارائه شده است. معادله در ساده‌ترین بیان به ما می‌گوید که سرعت ته‌نشین شدن (V) در ارتباط با توان دوم قطر ذرات (d) می‌باشد. یعنی $V = Kd^2$. در آن K عبارت است از ثابتی که در ارتباط با شتاب ثقل، چگالی و گرانیوز آب می‌باشد. با اندازه‌گیری مقدار خاک باقیمانده در حالت تعلیق بعد از زمان‌های مختلف ته‌نشین شدن (با استفاده از پی‌پت و یا هیدرومتر همان‌طور که در شکل ۵-۴ نشان داده شده است) درصد هر بخش از اندازه‌ی ذرات مانند آن‌چه که در شکل ۱۰-۴ آمده است مورد استفاده قرار می‌گیرد.

شکل ۱۰-۴ منحنی‌های توزیع اندازه‌ی ذرات را برای خاک‌هایی که معرف سه کلاس بافت هستند ارائه می‌کند. این واقعیت که منحنی‌ها خطوط صافی هستند تأکید می‌کند که خط تیزی برای مشخص کردن بخش‌های شن، لای و رس وجود نداشته و تغییرات تدریجی خصوصیات خاک را با تغییر در اندازه‌ی ذرات مطرح می‌کند.

^۱ - برای اصلاح خصوصیات فیزیکی خاک‌های بافت ریز با اضافه کردن شن باید توجه خاص مبذول داشت اگر شن دارای اندازه مناسب نباشد و در مقادیر کافی مصرف

نگردد ممکن است به جای اثر مفید اثرات زیان‌بار داشته باشد زیرا ذرات شن هم‌جوار منافذ درشتی در بین خود ایجاد می‌کنند در حالیکه شن در خاک رسی و سیلتی این منافذ را تشکیل نمی‌دهد. بنابراین، مخلوط کردن شن در مقادیر متوسط با خاک ریز مخلوطی ایجاد می‌کند که به جای خاک شنی بسیار شبیه بتن می‌باشد.

^۲ - Perlith

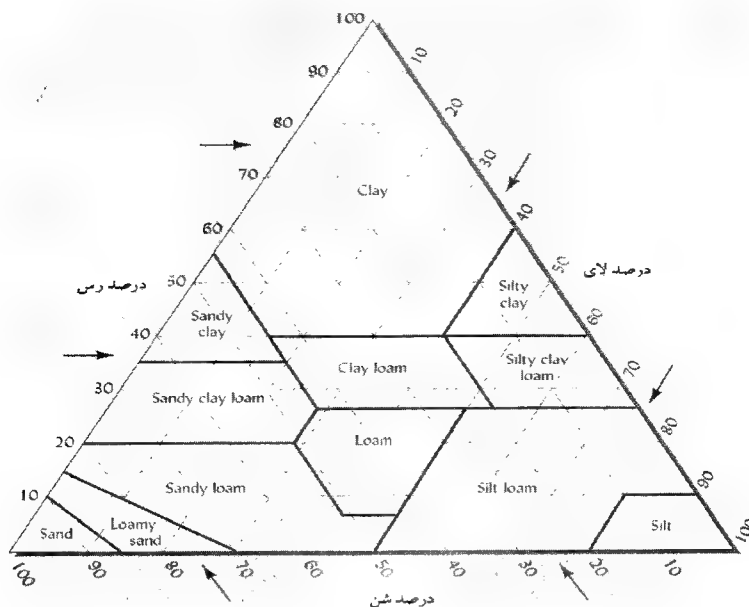
^۳ - Peat

^۴ - Styrofoam

جدول ۲-۴ واژه‌های عمومی که برای تشریح بافت خاک در ارتباط با اسامی اصلی کلاس بافت خاک به کار می‌روند (نظام طبقه‌بندی وزارت کشاورزی آمریکا)

اسامی اصلی کلاس بافت خاک	واژه عمومی	
	نام کلی	بافت
شنی (Sand)، شن لومی (Loamy sand)	خاک‌های شنی (Sandy Soils)	درشت
لوم شنی (Sandy loam)، لوم شنی ریز (Fine sandy loam)	خاک‌های لومی (Loamy soils)	نسبتاً درشت
لوم شنی خیلی ریز* (Very fine sandy loam)، لوم (Loam)، لوم سیلتی (Silty loam) و سیلت (Silt)		متوسط
لوم رسی شن دار (Sandy clay loam)، لوم رسی سیلت دار (Silty clay loam) و لوم رسی (Clay loam)		نسبتاً ریز
رس شنی (Sandy clay)، رس سیلتی (Silty clay) و رس (Clay)	خاک‌های رسی (Clayey soils)	ریز

* این اسامی به عنوان کلاس بافت در شکل ۸-۴ نیامده است اما به خاطر میزان شن ریز با آن‌ها جداگانه رفتار می‌شود.



شکل ۸-۴ مهمترین کلاس‌های بافت خاک به وسیله درصد شن، لای و رس، با توجه به خطوط پر رنگ مرزهای بافت در مثلث بافت خاک مشخص می‌شوند. اگر این درصدها برای یک نمونه‌ی خاک با تجزیه اندازه‌ی ذرات تعیین شود آن وقت مثلث بافت خاک می‌تواند برای تعیین نام بافت خاک در آن نمونه به کار رود. برای استفاده از این مثلث میزان رس را در ضلع سمت چپ مثلث مشخص نموده و خطی در عرض مثلث به موازات قاعده (درصد شن) ترسیم کنید. بعد میزان شن را در قاعده‌ی مثلث تعیین نموده و خطی به موازات محور لای ترسیم کنید. پیکان‌های کوچک در شکل مسیر درست را برای کشیدن این خط‌ها نشان می‌دهند. محل برخورد این دو خط در هر یک از خانه‌های ۱۲ گانه‌ی داخل مثلث، بافت خاک نمونه را مشخص می‌سازد. داشتن دو عدد از سه عدد درصد هر یک از بخش‌های خاک برای تعیین بافت کافی می‌باشد. از آنجاکه مجموع درصد شن و رس ولای می‌باید ۱۰۰ گردد با داشتن دو رقم درصد درصد سومی نیز مشخص می‌شود. اگر از هر سه درصد استفاده شود باید خطوط هم‌دیگر را در یک نقطه قطع کنند. برای مثال، ملاحظه کنید خاکی که دارای ۱۵ درصد شن، ۱۵ درصد رس و ۷۰ درصد لای باشد. بافت آن با توجه به خطوط منقطع در داخل محدوده‌ی لوم سیلتی در مثلث بافت خاک قرار می‌گیرد. کلاس بافت نمونه خاک دیگری با ۳۳ درصد رس، ۳۳ درصد سیلت و ۳۳ درصد شن کدام است، خطوط در این نمونه‌ی دوم در محدوده‌ی لوم رسی هم‌دیگر را قطع می‌کنند (خطوط ترسیم نشده).

مهم این است توجه کنیم که کلاس اندازه‌ی ذرات تنها بر اساس ذرات معدنی در اندازه شن و یا ریزتر مشخص می‌شود. بنابراین مجموع درصد شن، لای و رس مجموعاً به ۱۰۰ می‌رسد. مقدار سنگ و سنگ‌ریزه جداگانه درجه‌بندی می‌شود. ماده‌ی آلی معمولاً قبل از تجزیه مکانیکی به‌وسیله اکسید کردن از خاک جدا می‌شود.

رابطه‌ی بین این تجزیه‌های مکانیکی و نام کلاس‌های بافت معمولاً به‌وسیله‌ی مثلث بافت خاک نشان داده شده است (شکل ۸-۴) مثلث بافت خاک ما را قادر می‌سازد که از تجزیه‌ی آزمایشگاهی اندازه ذرات برای تأیید صحت اندازه‌گیری بافت خاک به‌وسیله‌ی لمس استفاده کنیم.

تابلو ۲-۴ روشی برای تعیین بافت خاک به‌وسیله‌ی لمس کردن

قدم اول و بسیار اساسی در روش تعیین بافت خاک به‌وسیله‌ی لمس کردن، مالش دادن یک گلوله‌ی خمیری از خاک مرطوب در اندازه‌ی گردو در روی انگشت شست همانند بتانه یکنواخت می‌باشد. در صورت نیاز آرام آب به آن اضافه کنید این مرحله ممکن است چند دقیقه بطول انجامد اما، آزمون یک نمونه‌ی خوب آماده نشده ممکن است سبب ایجاد اشتباه گردد، زیرا خاکدانه‌های سخت رس و لای ممکن است دارای احساس ذرات شن گردند. خاک باید مرطوب بوده اما کاملاً براق نباشد. تلاش کنید که این کار را فقط با یک‌دست انجام دهید تا دست دیگر شما برای نوشتن در دفترچه‌ی صحرایی (و دست دادن با افراد) تمیز باقی بماند.

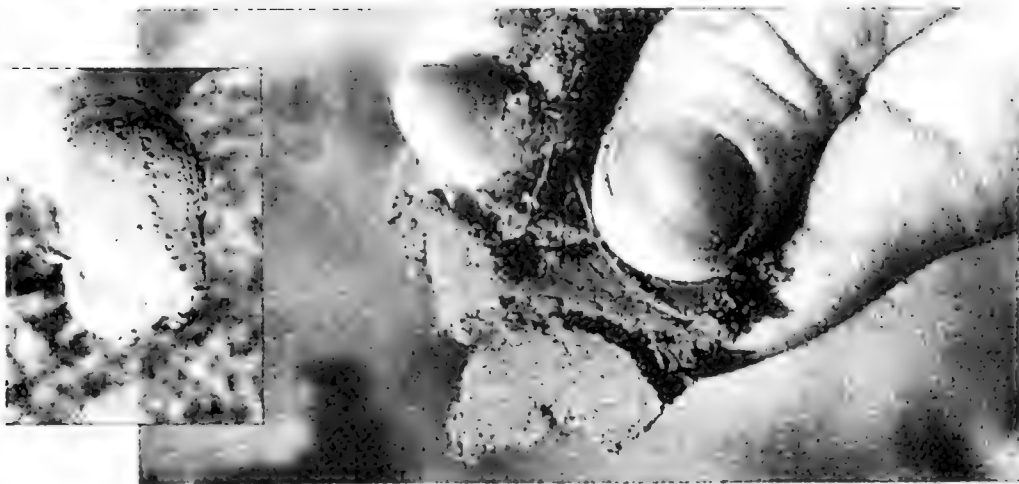
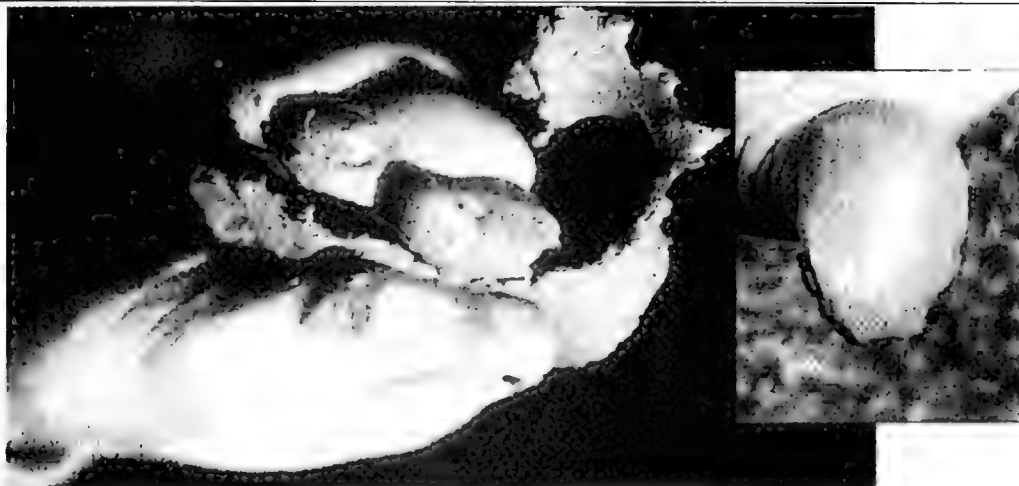
هنگام فشاردادن و خمیر کردن نمونه، به شکل‌پذیری، چسبندگی، سفتی و تمام خصوصاتی که با میزان رس در ارتباط است توجه کنید. میزان لای زیاد سبب می‌شود که نمونه صاف و ابریشم مانند یا چسبندگی و مقاومت کمی به تغییر شکل احساس گردد. خاک حاوی مقدار قابل توجه شن، خشن و زیر احساس می‌گردد و هنگام مالش روی هم‌دیگر در کنار گوش صدای آسیاب شدن شنیده می‌شود. برای تعیین مقدار رس سعی کنید با فشاردادن یک گلوله از خاک که به‌میزان مناسب مرطوب شده است در بین انگشت شست و بغل انگشت اشاره نواری از خمیر درست کنید. تا آنجا که می‌توانید نوار خمیری را طولانی‌تر درست کنید تا این‌که در اثر وزن خود نوار بشکند (شکل ۹-۴ را مشاهده کنید).

مشاهدات خود را مطابق زیر تفسیر کنید.

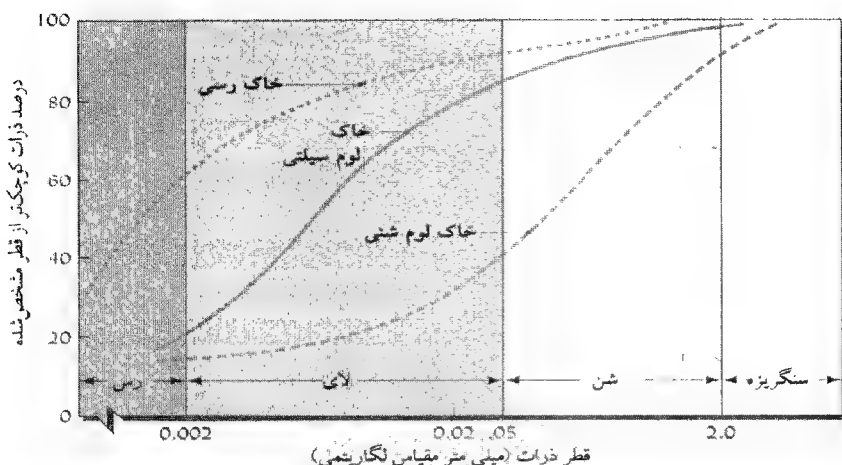
- | | |
|---|-----------|
| ۱- خاک‌هایی که فاقد چسبندگی بوده و به‌صورت گلوله در نمی‌آیند و از هم جدا می‌شوند | شن |
| ۲- خاک‌هایی که تشکیل گلوله می‌دهند اما نوار تشکیل نمی‌دهند | |
| ۳- نوار خاک با رنگ مات که با طول کمتر از ۲/۵ سانتی‌متر می‌شکند | |
| الف - صدای آسیاب شدن شنیده می‌شود، لمس و احساس زیری غالب است | لوم شنی |
| ب - احساس و لمس صافی، آردی غالب است و صدای آسیاب شدن شنیده نمی‌شود | لوم سیلتی |
| ج - احساس زیری و صاف بودن کم بوده و صدای آسیاب شدن شنیده نمی‌شود | لوم |
| ۴- خاک از خود چسبندگی و سفتی متوسط نشان داده و نوارهایی با طول ۵-۲/۵ سانتی‌متر تشکیل می‌دهد | |
| الف - صدای برخورد ذرات شنیده می‌شود و احساس زیری غالب است | |
| ب - احساس صاف بودن و آردی بودن غالب است | |
| ج - زیری و صاف بودن اندک است و صدای برخورد ذرات به‌خوبی شنیده نمی‌شود | لوم رسی |
| ۵- چسبندگی و سفتی در خاک غالب است و خاک نوارهای براق با طول بیش از ۵ سانتی‌متر تشکیل می‌دهد | |
| الف - صدای برخورد ذرات شنیده می‌شود و زیری احساس غالب است | رس شنی |
| ب - احساس صاف بودن و آردی بودن غالب است و صدای زیری شنیده نمی‌شود | رس سیلتی |
| ج - زیری و صاف بودن اندک و صدای برخورد به‌خوبی شنیده نمی‌شود | رسی |

یک برآورد دقیق‌تر از میزان شن (و بنابراین جای‌گذاری درست‌تر آن‌ها در محور افقی مثلث بافت خاک) می‌توان با خیس کردن یک تکه از خاک به‌اندازه نخود در کف دست و پخش آن با نوک انگشتان تا این‌که تا کف دست با یک محلول مواد معلق خاکی همانند سوپ پوشیده شود. ذرات شن به‌طور قابل مشاهده بیرون آمده و حجم آن‌ها را با مقایسه با حجم نخود اولیه می‌توان برآورد نمود و همین‌طور اندازه‌ی (ریز، متوسط، درشت) آن‌ها را مشخص کرد.

بهترین راه یادگرفتن روش استفاده از نمونه‌ها با کلاس بافت معلوم است، با تمرین می‌توان کلاس بافت به‌طور صحیح در محل تعیین کرد



شکل ۹-۴ روش لمس کردن برای تعیین کلاس‌های بافت خاک. یک نمونه‌ی مرطوب بین انگشتان شست و اشاره مالش داده (عکس جایگذاری شده) و فشرده می‌شود تا یک نوار تشکیل دهد. (الف) ظاهر زیر غیرچسبده و طول نوار کوچک در خاک لوم شنی با حدود ۱۵ درصد رس. (ب) ظاهر صاف ومات و شکسته شدن نوار که خصوصیت لوم سیلی است. (ج) ظاهر صاف و براق و نوار طویل قابل انعطاف رس (جمع‌بی ۲-۴ رامشاهده کنید).



شکل ۱۰-۴ توزیع اندازه‌ی ذرات در سه نوع خاک با بافت‌های بسیار متفاوت. توجه کنید که توزیع اندازه ذرات در هر یک از این خاک‌ها تدریجی می‌باشد.

تابلو ۳-۴ قانون استوکس در محاسبه‌ی اندازه ذرات با روش ته‌نشینی

شرح کامل قانون استوکس به ما می‌گوید که سرعت یک ذره در حال ته‌نشینی در داخل یک سیال به‌طور مستقیم در ارتباط با نیروی ثقل (g)، تفاوت بین چگالی ذرات و چگالی آب ($D_s - D_f$)، و توان دوم قطر مؤثر (d^2) می‌باشد. سرعت ته‌نشینی به‌طور عکس در ارتباط با گرانش و یا ضخامت سیال η می‌باشد. از آنجاکه سرعت مساوی فاصله (h) تقسیم بر زمان (t) می‌باشد می‌توان قانون استوکس را به‌صورت زیر نوشت:

$$V = \frac{h}{t} = d^2 g (D_s - D_f) / 18\eta$$

که در آن g : عبارتست از شتاب ثقل و مساوی $9/8$ نیوتن در کیلوگرم (Nkg^{-1}) می‌باشد.

η : عبارتست از گرانشی آب در 20° درجه‌ی سانتی‌گراد و مساوی $1/1000$ نیوتن ثانیه بر متر مربع (10^{-3}Nsm^{-2}).

D_s : عبارتست از چگالی ذرات جامد که برای اکثر خاک‌ها مساوی $2/65 \times 10^3 \text{Kgm}^{-3}$ می‌باشد.

D_f : عبارتست از چگالی سیال (آب) مساوی است با: $1 \times 10^3 \text{Kgm}^{-3}$

با جایگذاری این ارقام در معادله می‌توانیم بنویسیم

$$V = \frac{h}{t} = \frac{d^2 \times 9.81 \text{Nkg}^{-1} \times (2.65 \times 10^3 \text{Kgm}^{-3} - 1 \times 10^3 \text{Kgm}^{-3})}{18 \times 10^{-3} \text{Nsm}^{-2}} = \frac{9 \times 10^5 d^2}{sm} = Kd^2$$

که در آن K مساوی است با:

$$K = \frac{9 \times 10^5}{sm}$$

توجه کنید که $V = Kd^2$ همان فرمول ساده شده است که در کتاب ارائه گردیده است.

اجازه دهید که یک نمونه از محلول را در عمق $0/1$ متر انتخاب کنیم. ما زمان ته‌نشینی را که باید بگذاریم تا کوچک‌ترین ذرات لای از عمق مورد نظر عبور کرده و ما در آن عمق فقط رس را داشته باشیم می‌توانیم حساب کنیم. با توجه به این‌که هر $h = 0.1$ و

کوچک‌ترین ذره‌ی لای دارای قطر $0/02$ میلی‌متر است ($d = 2 \times 10^{-6} \text{m}$) می‌توانیم معادله را برای تعیین t بنویسیم.

$$V = \frac{h}{t} \Rightarrow t = \frac{h}{V} = h / Kd^2$$

$$t = 0/1 \text{ m} / (2 \times 10^{-6} \text{ m})^2 \times 9 \times 10^5 \text{ S}^{-1} \text{m}^{-1} = 277777 \text{ ثانیه} = 7/72 \text{ ساعت}$$

در مقایسه کوچک‌ترین ذرات شن ($d = 0.05 \text{mm}$) همان مسیر 10 سانتی‌متری را در مدت 44 ثانیه طی خواهد کرد.

۱- قانون استوکس در مورد ذرات صاف گرد صادق است از آنجاکه اکثر ذرات خاک نه صاف هستند و نه گرد، روش‌های ته‌نشینی قطر مؤثر نه ضرورتاً قطر واقعی ذرات خاک را مشخص می‌سازد.

۴-۴ ساختمان خاک‌های معدنی

واژه‌ی ساختمان خاک در ارتباط با تجمع و ترتیب قرارگرفتن ذرات خاک می‌باشد این خصوصیات به‌طور کلی ترتیب و طرز قرارگرفتن اجزاء اولیه‌ی خاک را در گروه‌های ثانویه، که به آن خاکدانه‌ها^۱ گفته می‌شود مورد تشریح قرار می‌دهد. شرایط و خصوصیات خاک مانند حرکت آب، انتقال گرما، تهویه و تخلخل، به‌مقدار زیادی تحت تأثیر ساختمان قرار می‌گیرند. عملیاتی چون قطع درختان، چرای احشام، خاک‌ورزی، حمل و نقل، زه‌کشی، آهک دادن و کود دامی دادن با تغییر در ساختمان خاک به‌خصوص، در لایه‌های سطحی، تا حد زیادی در خصوصیات خاک تأثیر می‌گذارند.

فرایندهای مؤثر در تشکیل، پایداری و مدیریت ساختمان خاک در بخش ۷-۴ و ۸-۴ تشریح خواهند شد. در اینجا ما طبیعت انواع مختلف ساختمان‌ها را در واحدهای ساختمانی خاک بررسی می‌کنیم.

انواع ساختمان‌های خاک

انواع بسیاری از اشکال واحدهای ساختمانی^۲ در خاک‌ها، اغلب در افق‌های مختلف یک خاکرخ وجود دارند، ساختمان خاک به‌وسیله‌ی واژه‌های شکل (نوع)، اندازه و میزان وضوح (درجه) واحدهای ساختمانی مشخص می‌شوند.

چهار نوع ساختمان اصلی عبارتند از کروی^۳، بشقابی^۴، منشوری^۵ و مکعبی^۶. این انواع اشکال ساختمانی (و انواع فرعی‌تر) در شکل ۱۱-۴ تشریح شده‌اند و در زیر مورد بررسی قرار می‌گیرند:

۱- ساختمان کروی: ساختمان گرد دانه‌ای^۷ شامل واحدهای ساختمانی کروی و یا گرد دانه می‌باشند که معمولاً در یک حالت سست از هم‌دیگر جدا می‌باشند (شکل ۱۱-۴ الف را مشاهده کنید). وقتی گرد دانه‌های کروی به‌خصوص متخلخل باشند به آن‌ها گاهی اسفنجی^۸ اطلاق می‌شود. قطر آن‌ها معمولاً کمتر از ۱ تا بیشتر از ۱۰ میلی‌متر تغییر می‌کند.

ساختمان‌های دانه‌دانه‌ای و اسفنجی خصوصیت لایه سطحی بسیاری از خاک‌ها (افق A) به‌خصوص خاک‌های دارای ماده‌ی آلی زیاد می‌باشند. بنابراین، آن‌ها به‌ویژه در خاک‌های چمن‌زارها و خاک‌های دارای کرم خاکی به‌وفور وجود دارند.

۲- ساختمان بشقابی: در این نوع ساختمان، خاکدانه‌ها (واحدهای ساختمانی خاک) از صفحات تقریباً نازک افقی و یا صفحه مانند تشکیل شده‌اند. ساختمان بشقابی ممکن است در افق‌های سطحی و یا زیر سطحی یافت شود. در اکثر موارد بشقاب‌ها بر اثر فرایندهای خاک‌سازی به‌وجود آمده‌اند. هرچند برخلاف سایر اشکال ساختمانی، ساختمان بشقابی ممکن است از مواد مادری منشاء گرفته باشد. به‌خصوص موادی که به‌وسیله‌ی آب و یا یخ ته‌نشین شده باشند. در بعضی موارد ساختمان بشقابی می‌تواند بر اثر تراکم خاک‌های رسی به‌وسیله‌ی ماشین‌آلات سنگین به‌وجود آید (شکل ۱۱-۴ ب را ملاحظه کنید).

۳- ساختمان مکعبی: واحدهای ساختمان مکعبی دارای شکل نامنظم و تقریباً مکعبی (شکل ۱۲-۴) بوده و اندازه‌ی آن‌ها از ۵ تا ۵۰ میلی‌متر متغیر می‌باشد. قطعات جداگانه و به‌طور مستقل تشکیل نشده‌اند بلکه به‌وسیله‌ی شکل قطعات اطراف قالب گرفته‌اند. وقتی لایه‌ی قطعات تیز و دارای سطوح مکعبی مشخص باشد نوع فرعی مکعبی زاویه‌دار^۹ نامیده می‌شود (شکل ۱۱-۴ ج). وقتی زاویه‌ها گرد شده باشند به آن خاکدانه، شبه‌مکعبی و یا فندقی^{۱۰} اطلاق می‌شود (شکل ۱۱-۴ د) این نوع ساختمان معمولاً در افق B یافت شده و سبب ارتقاء زه‌کشی، تهویه و توسعه‌ی ریشه‌ها می‌شود.

۴- ساختمان منشوری: ساختمان ستونی^{۱۱} و منشوری^{۱۲} به‌وسیله‌ی واحدهای ساختمانی جهت‌یافته عمودی و یا ستون‌هایی با ارتفاع متفاوت در خاک‌های مختلف به‌وجود می‌آید و ممکن است قطر آن‌ها به ۱۵ سانتی‌متر و یا بیشتر برسد. ساختمان ستونی (شکل ۱۱-۴) که

1 - Aggregates

2 - Ped

3 - Spheroidal

4 - Platy, Plate like

5 - Prism like

6 - Blocky, Block like

7 - Granular

8 - Crumb

9 - Angular

10 - Subangular

11 - Columnar

12 - Prismatic

دارای ستون‌هایی با رأس مشخص گردیده می‌باشند، به‌خصوص در خاک‌های تحت‌الارضی که دارای سدیوم زیادی است یافت می‌شوند (افق ناتریک بخش ۲-۳). وقتی رأس منشورها نسبتاً زاویه‌دار و مسطح باشد به آن‌ها ساختمان منشوری اطلاق می‌شود (شکل ۱۱-۴ و). هر دو نوع ساختمان منشوری اغلب با رس‌های منبسط شونده همراه می‌باشند. آن‌ها معمولاً در افق‌های زیرین خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک وجود دارند، چنان‌چه به‌خوبی شکل گرفته باشند، چهره‌ی خالی در خاک‌رخ به‌وجود می‌آورند. در مناطق مرطوب ساختمان منشوری بعضی مواقع در خاک‌ها با زه‌کشی ضعیف و خاک‌های فراجی پن^۱ (خاک‌های حاوی سخت لایه ترد و شکننده) (شکل ۳-۶) وجود دارند. در این نوع ساختمان آخری پهنای منشورها ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر است.

تشریح ساختمان خاک در صحرا

وقتی دانشمندان خاک را برای طبقه‌بندی تشریح می‌کنند (جدول ۱-۱۹) نه تنها به شکل واحدهای ساختمانی حاضر توجه می‌کنند بلکه به اندازه‌ی نسبی (ریز، متوسط، درشت) و درجه‌ی تکامل و وضوح واحدهای ساختمانی (قوی^۲، متوسط^۳، ضعیف^۴) آن‌ها را مورد توجه قرار می‌دهند. برای نمونه افق خاک نشان داده شده در شکل ۱۱-۴-د به‌صورت ساختمان ضعیف، ریز، مکعبی فندقی تشریح می‌گردد. معمولاً مشاهده ساختمان یک خاک در حالت نسبتاً خشک آسان‌تر است. وقتی خاک خیس باشد، واحدهای ساختمانی ممکن است انبساط یافته و ذرات را تحت فشار قرار داده و سبب گردد واحدهای ساختمانی جدا از هم کمتر مشخص گردند. در هر حال وضعیت ساختمانی ذرات خاک و فضای بین واحدهای ساختمانی تأثیر بسیار زیادی در چگالی خاک دارد. جنبه‌ای از مهرازی خاک که هم اکنون با جزئیات بیشتر مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۵-۴ چگالی خاک

چگالی ذرات

چگالی ذرات جامد خاک (Dp) به‌صورت مقدار جرم در واحد حجم ذرات جامد خاک (نه در واحد حجم کل خاک که شامل هوای بین ذرات نیز می‌باشد) بیان می‌شود. در نظام متر یک واحد آن مگاگرم در مترمکعب است. بنابراین اگر یک مترمکعب ذرات جامد خاک ۲/۶ مگاگرم وزن داشته باشد، چگالی ذرات خاک ۲/۶ می‌باشد.

چگالی ذرات اساساً همان ثقل مخصوص^۵ مواد جامد است. ترکیب شیمیایی و ساختمان بلوری یک کانی تعیین‌کننده چگالی ذرات آن می‌باشد. چگالی ذرات تحت تأثیر منافذ خاک قرار نمی‌گیرد. بنابراین در ارتباط با اندازه ذرات و یا طرز قرارگرفتن ذرات (ساختمان خاک) نمی‌باشد.

چگالی ذرات برای اکثر خاک‌های معدنی در محدوده‌ی ۲/۶ تا ۲/۷۵ مگاگرم در مترمکعب می‌باشد. زیرا کوارتز، فلدسپات، میکا و سیلیکات‌های کلوییدی که بخش عمده‌ای از خاک‌های معدنی را می‌سازند دارای چگالی در همین محدوده می‌باشند. برای محاسبات کلی در ارتباط با خاک‌های معدنی زراعی سطحی (با ۱ تا ۵ درصد ماده‌ی آلی) اگر چگالی ذرات واقعی معلوم نباشد عدد ۲/۶۵ را در نظر می‌گیریم. این عدد برآورد شده برای برخی از خاک‌ها باید تعدیل یابد، مثلاً وقتی مقدار زیادی کانی‌ها با چگالی زیاد (مانند مگنتیت^۶، گارنت^۷، اپیدوت^۸، زیرکون^۹، تورمالین^{۱۰} و هورنبلند^{۱۱}) حضور داشته باشند چگالی ذرات خاک باید از ۳ مگاگرم در مترمکعب بیشتر گردد. ماده‌ی آلی با چگالی ذرات ۰/۹ تا ۱/۳ مگاگرم در مترمکعب دارای چگالی بسیار کمتری از ذرات معدنی می‌باشد. بنابراین خاک‌های معدنی سطحی با مقدار زیادی از ماده‌ی آلی (۱۵ تا ۲۰ درصد) ممکن است دارای چگالی ذرات پایین‌تر از ۲/۴ مگاگرم در مترمکعب باشند. خاک‌های آلی شاخص (هیستوسول‌ها) دارای چگالی ذرات بین ۱/۱ تا ۲ مگاگرم در مترمکعب می‌باشند.

1 - Fragipan

2 - Strong

3 - Moderate

4 - Weak

5 - Special gravity

6 - Magnetite

7 - Garnet

8 - Epidote

9 - Zircon

10 - Tormaline

11 - Hornblend

کروی
خصوصیت افق سطحی (A) در
معرف تغییرات گسترده سریع

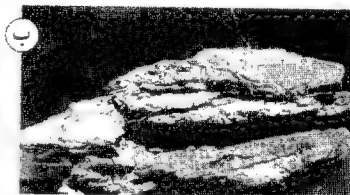
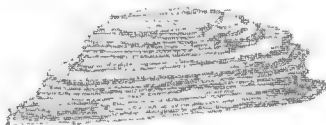
خاکدانه ای
(متخلخل)



اسفنجی
خیلی متخلخل

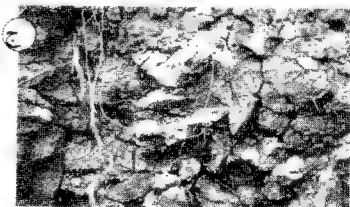


بشقابی
در افق E معمول است، ممکن
است در هر بخش پروفیل وجود
داشته باشد، معمولاً از مواد
مادری خاک و یا تراکم ناشی
شده است.



مکعبی
در افق B بخصوص در مناطق
مرطوب معمول است. ممکن
است در افق A هم پیدا شود.

مکعبی زاویه دار

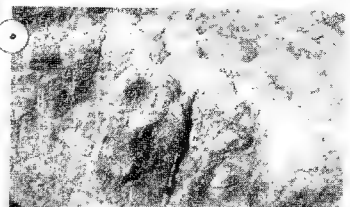
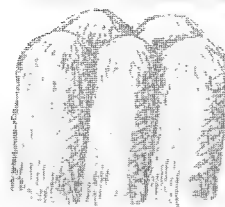


مکعبی گرد (فندقی)



منشوری
معمولاً در افق B یافت
می شود و در خاکهای مناطق
خشک و نیمه خشک بسیار
معمول است.

ستونی
(با رأس گرد شده)



منشوری
(با رأس صاف زاویه دار)



شکل ۱۱-۴ انواع اشکال ساختمانی متعدد که در خاکهای معدنی یافت می شود. موقعیت معمولی هریک بیان شده است. نقاشی ها چهره های اساسی آنها را
تشریح می کند و عکس ها موقعیت آنها را در محل نشان می دهد. طول مداد ۱۵ سانتی متر است (ه) و عرض تیغه کارد ۳ سانتی متر (دو) مقیاس را نشان می دهد.

چگالی ظاهری خاک های معدنی^۱

استاندارد مهم دوم در اندازه گیری جرم خاک چگالی ظاهری (Db) است که به صورت مقدار جرم در واحد حجم کل خاک خشک بیان
می شود و حجم کل خاک شامل حجم ذرات جامد و حجم خلل و فرج با هم می باشد. مطالعه ی دقیق شکل ۱۳-۴ تفاوت آشکار بین چگالی
حقیقی و ظاهری را مشخص می سازد. هر دو چگالی فقط از جرم مواد جامد استفاده می کند بنابراین، آب موجود در نظر گرفته نمی شود.

^۱ - Bulk density

چند روش عملی دیگر^۱ برای تعیین چگالی ظاهری خاک وجود دارد که همگی آن‌ها متکی به به‌دست آوردن حجم به‌خصوصی از خاک و خشک کردن آن برای حذف آب و توزین وزن خشک است. از یک وسیله برداشت مغزه (شکل ۱۴-۴) برای نمونه برداری از خاک با حجم مشخص می‌توان بدون به‌هم‌زدن ساختمان خاک طبیعی استفاده کرد. برای خاک‌های سطحی شاید ساده‌ترین روش حفر یک حفره کوچک و جمع‌آوری تمام خاک‌های حفاری شده و سپس پوشش دادن تمام حفره به وسیله یک لایه پلاستیک نازک و پر کردن آن با حجم مشخص آب باشد. روش دیگر، پوشش دادن کلوخه‌ای از خاک با لایه‌ای از مواد نفوذناپذیر (پارافین) می‌باشد. حجم این کلوخه‌ها را می‌توان با میزان سبک‌شدن جسم در آب به‌دست آورد.



شکل ۱۲-۴ واحدهای ساختمانی قوی متوسط زاویه‌دار مکعبی در افق B یک خاک آلی‌سول (استالف) در منطقه نیمه‌خشک، نوک چافو سبب جدا کردن یک واحد مکعبی شده است. به رنگ روشن پوشش رس آبشویی‌شده‌ی سطحی که سبب مشخص شدن و اتصال واحدها می‌شود، توجه کنید.

عوامل مؤثر در چگالی ظاهری

خاک‌ها با نسبت بالایی از منافذ، دارای چگالی ظاهری کمتری نسبت به خاک‌های متراکم با حجم منافذ کمتر می‌باشند. در نتیجه هر عاملی که در حجم منافذ خاک تأثیر بگذارد در چگالی ظاهری نیز مؤثر می‌باشد. میزان تغییرات شاخص چگالی ظاهری در مواد خاکی و شرایط مختلف در شکل ۱۵-۴ تشریح شده است. مطالعه‌ی این ارقام برای درک خوب این دامنه تغییرات چگالی ظاهری ارزشمند است.

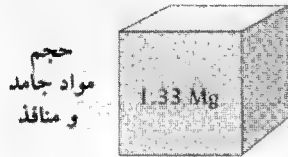
تأثیر بافت خاک

همان‌گونه که در شکل ۱۵-۴ آمده است خاک‌های بافت ریز مانند لوم سیلتی، رس‌ها و لوم رسی معمولاً دارای چگالی ظاهری کمتر از خاک‌های شنی^۲ می‌باشند. این درست است، زیرا ذرات جامد خاک‌های بافت ریز تمایل دارند که به‌صورت ذرات متخلخل و در صورت وجود ماده‌ی آلی به‌مقدار کافی به‌صورت خاکدانه‌ها تشکیل یابند. در این خاک‌ها، منافذ در بین و در داخل گرددانه‌ها وجود دارند. این شرایط سبب بالا بردن حجم کل منافذ و چگالی ظاهری پایین خواهد شد. در خاک‌های شنی مقدار ماده‌ی آلی معمولاً پایین بوده و ذرات جامد نزدیک هم قرار می‌گیرند. در نتیجه، چگالی ظاهری معمولاً بیشتر از خاک‌های بافت ریز می‌باشد. شکل ۱۶-۴ بیانگر این مفهوم است که خاک‌های شنی دارای میزان منافذ درشت شبیه منافذ خاک‌های بافت ریز با خاکدانه‌های مناسب می‌باشند اما دارای منافذ ریز اندک در داخل خاکدانه‌ها بوده و بنابراین، دارای تخلخل کل کمتری می‌باشند.

^۱ - یک روش دقیق که مقاومت خاک را در مقابل انتشار اشعه‌ی گاما مشخص می‌سازد و در مطالعات خاک‌شناسی مورد استفاده می‌باشند. در این کتاب مورد تشریح قرار نمی‌گیرد.

^۲ - این واقعیت ممکن است ابتدا با توجه به شواهد متضاد به‌نظر برسد. زیرا به‌طور عمومی به خاک‌های شنی خاک‌های سبک اطلاق می‌شود درحالی‌که به خاک‌های رسی و لومی رس، خاک‌های سنگین، واژه‌های سبک و سنگین در این مورد در ارتباط با چگالی در واحد حجم نیست بلکه در ارتباط با میزان کار لازم برای سدپریت این خاک‌ها در عملیات خاک‌ورزی می‌باشد. در خاک‌های چسبیده رسی عملیات خاک‌ورزی بسیار مشکل است.

در مزرعه یک متر مکعب از خاک خاص به صورت زیر مشاهده می شود.



برای محاسبه چگالی ظاهری خاک:

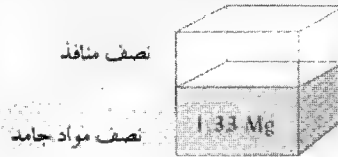
$$\text{وزن خاک خشک شده در کوره} = \text{وزن فقط ذرات جامد} = 1.33 \text{ Mg}$$

$$\text{چگالی ظاهری} = \frac{\text{وزن خاک خشک شده در کوره}}{\text{حجم خاک (منافذ + مواد جامد)}} = \frac{1.33 \text{ Mg}}{1 \text{ m}^3}$$

بنابراین

$$D_p = \frac{1.33}{1} = 1.33 \text{ Mg m}^{-3}$$

اگر تمام مواد جامد به پایین فشرده شوند مکعب به صورت زیر می باشد.



برای محاسبه چگالی ذرات:

$$\text{وزن فقط مواد جامد} = 1.33 \text{ Mg}$$

$$\text{چگالی ذرات} = \frac{\text{وزن فقط مواد جامد}}{\text{حجم فقط مواد جامد}} = \frac{1.33 \text{ Mg}}{0.5 \text{ m}^3}$$

بنابراین

$$D_p = \frac{1.33}{0.5} = 2.66 \text{ Mg m}^{-3}$$

شکل ۱۳-۴ چگالی ظاهری D_b و چگالی ذرات خاک D_p . چگالی ظاهری عبارتست از وزن ذرات جامد خاک در حجم مشخص خاک مزرعه (حجم ذرات جامد و حجم منافذ اشغال شده به وسیله آب و هوا). چگالی ذرات عبارتست از وزن ذرات جامد خاک در حجم مشخص همان ذرات خاک. چگونگی انجام محاسبات را با دقت پی گیری کنید. در این حالت خاص چگالی ظاهری نصف چگالی ذرات بوده و خاک دارای ۵۰ درصد تخلخل است.



(الف)



(ب)

شکل ۱۴-۴ یک نمونه بردار خاص برای برداشت نمونه ای استوانه ای از خاک بدون به هم زدن و یا تراکم خاک (الف). سر نمونه بردار شامل یک استوانه داخلی بوده و به وسیله ضربات یک چکش افشان در داخل خاک فرو می رود (ب). استوانه ای داخلی شامل یک مغزه به هم نخورده است که از استوانه بیرونی جدا شده و با چاقو دو انتهای آن تراشیده شده تا حجم آن به سادگی با ضرب کردن سطح قاعده استوانه در ارتفاع آن به دست آید. وزن این مغزه خاکی پس از قرار گرفتن در کوره به مدت ۲۴ ساعت در ۱۰۵ درجه تعیین خواهد شد.

درحالی‌که خاک‌های شنی معمولاً دارای چگالی ظاهری بالایی می‌باشند طرز قرارگرفتن ذرات نیز در چگالی ظاهری آن‌ها مؤثر است. (شکل ۱۷-۴ را مشاهده کنید). ذرات متراکم نشده ممکن است ۵۲ درصد حجم توده را اشغال کنند در صورتی‌که ذرات متراکم شده تا ۷۵ درصد حجم را اشغال می‌کنند.^۱ چگالی ظاهری ذرات شن اگر از ذرات هم‌اندازه تشکیل شده باشند (ذرات جور^۲) معمولاً کمتر خواهد بود. در صورتی‌که مخلوطی از اندازه‌های مختلف (دانه‌بندی خوب^۳) دارای چگالی ظاهری بیشتری می‌باشد. در نمونه‌ی آخری ذرات کوچک‌تر فضاهای منافذ بین ذرات درشت را به‌طور نسبی پر می‌کنند. مواد دارای بالاترین چگالی، مخلوطی از اندازه‌های مختلف شن بوده که کاملاً متراکم شده‌اند.

عمق خاک‌رخ: هرچه خاک در عمق بیشتر خاک‌رخ قرار گرفته باشد، چگالی ظاهری، احتمالاً به‌خاطر میزان ماده‌ی آلی، خاکدانه و ریشه‌ی کمتر، و تراکم اعمال‌شده به‌وسیله‌ی لایه‌های بالایی زیادتر می‌باشد. خاک‌های تحت‌الارضی خیلی متراکم ممکن است دارای چگالی ۲ مگاگرم و یا بیشتر در مترمکعب باشند. بسیاری از خاک‌هایی که از ته‌نشست‌های یخچالی تشکیل شده‌اند (بخش ۱۰-۲ را مطالعه کنید) دارای چگالی ظاهری فوق‌العاده زیادی در طبقات پایین بر اثر تراکم زیاد حاصل از توده‌های یخ می‌باشند.

ارقام مفید چگالی ظاهری

برای مهندسین که در جابه‌جا نمودن خاک برای ایجاد ساختمان شرکت‌دارند و برای معماران فضای سبز که خاک سطحی را برحسب بار کامیونی تهیه می‌کنند، دانستن چگالی ظاهری خاک‌های مختلف در تخمین وزن خاکی که باید جابه‌جا شود مفید می‌باشد. یک خاک معدنی شاخص با بافت متوسط ممکن است دارای چگالی ظاهری ۱/۲۵ مگاگرم در مترمکعب باشد.^۴

مردم اکثراً از سنگین بودن خاک تعجب می‌کنند. فرض کنید که وانت خود را از خاک سطحی یک مزرعه که خاک آن حجمی فروخته می‌شود بخواهید پر کنید، باید بدانید که با این کار محور ماشین خود را خواهید برید و مطمئناً قادر نخواهید بود که با بار حرکت کنید. یک وانت با ظرفیت نیم تن (۱۰۰۰ پوند و یا ۴۵۴ کیلوگرم) می‌تواند کمتر از ۴/۵ مترمکعب از این خاک را حمل کند گرچه مخزن بار وانت دارای گنجایش ۶ برابر این رقم است.

طراحی باغچه‌های پشت‌بام کاربرد عملی دیگری را برای چگالی ظاهری ارائه می‌دهد. در این مورد باید جرم خاکی را که موجود است برای طراحی سازه‌ای که آنرا تحمل کند محاسبه کرد. یکی ممکن است چمن و یا دیگر گیاهان با ریشه‌ی کم عمق را انتخاب کند، بنابراین از یک لایه‌ی نسبتاً نازک خاک (حدود ۳۰ سانتی‌متر) استفاده می‌کند تا جرم کل خاک خیلی زیاد نگردد. همچنین ممکن است با انتخاب خاکی با وزن مخصوص ظاهری کم سبب کاهش هزینه‌ی سازه گردد. هرچند اگر مهارکردن درختان و نباتات به‌وسیله‌ی خاک مطرح باشد خاک‌ها با چگالی کم مانند پیت و پرلیت مخلوط با خاک، مناسب نخواهند بود.

جرم خاک در یک هکتار با عمق معمول شخم (۱۵ سانتی‌متر) را می‌توان با استفاده از چگالی ظاهری تعیین کرد. اگر، چگالی ظاهری را ۱/۳ مگاگرم در مترمکعب برای خاک سطحی شاخص فرض کنیم، یک هکتار از این خاک با عمق کشت ۱۵ سانتی‌متر بیش از ۲ میلیون کیلوگرم وزن خواهد داشت.^۵ این برآورد جرم یک هکتار خاک برای محاسبه‌ی آهک و کودهای شیمیایی و میزان معدنی‌شدن ماده‌ی آلی (تابلوهای ۱-۸، ۳-۹، ۳-۱۰ و ۱-۱۳) بسیار مفید خواهد بود. اگر وزن مخصوص ظاهری و عمق شخم تغییر کند این برآورد جرم باید تنظیم گردد.

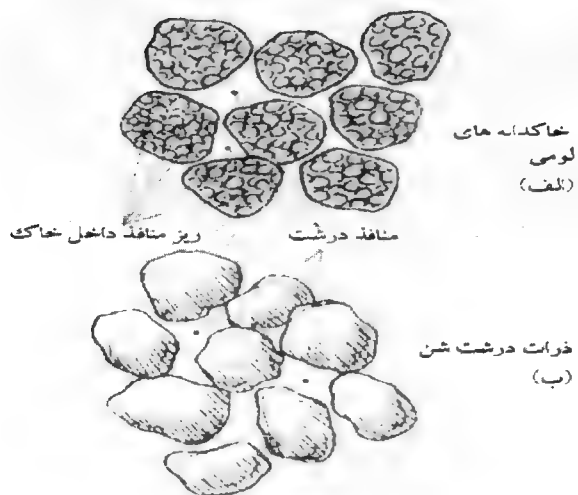
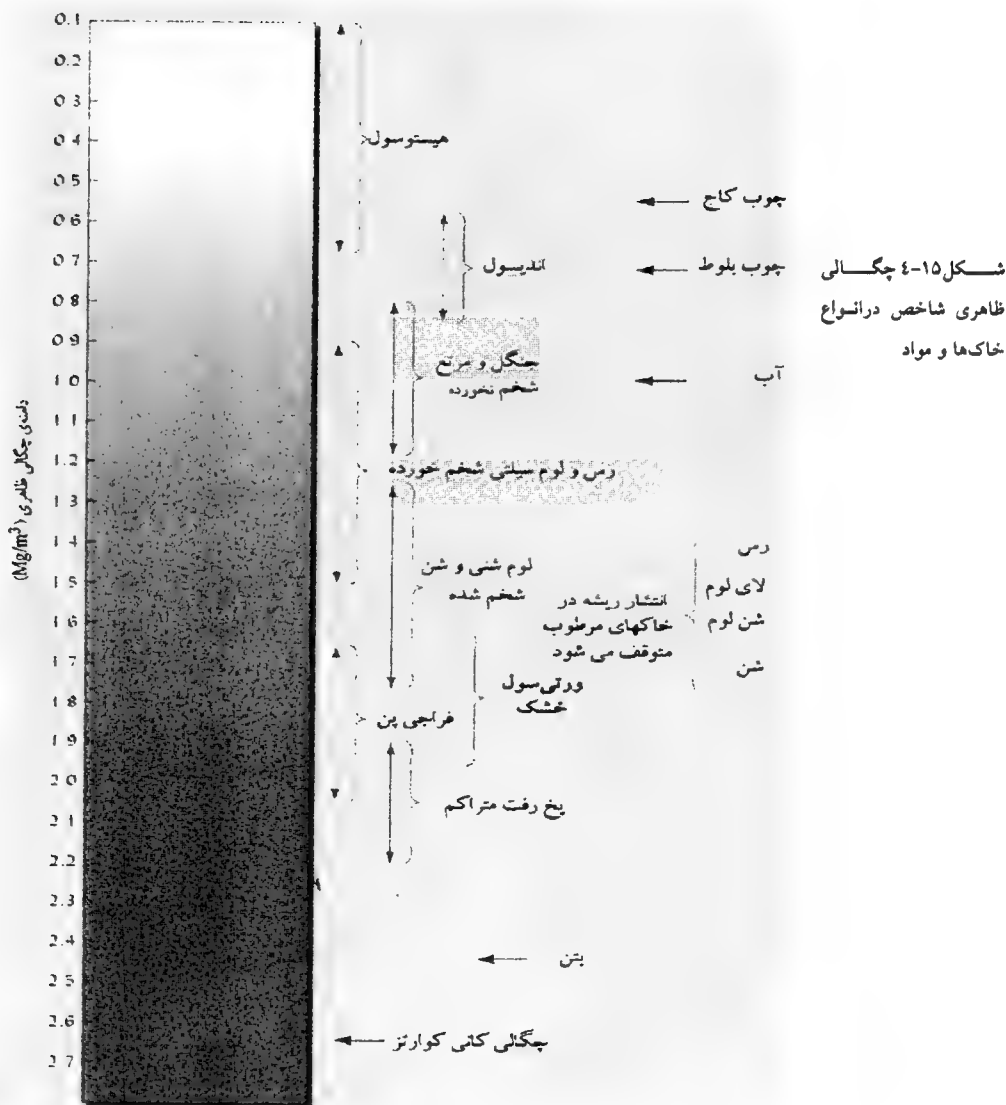
^۱ - اگر فرض کنیم که ذرات از کوارتز با چگالی حقیقی ۲/۶۵ مگاگرم در مترمکعب تشکیل شده باشد چگالی ظاهری برای شن سست و متراکم به ترتیب ۱/۳۸ و ۱/۹۹ مگاگرم در مترمکعب خواهد بود (۱/۳۸ = ۲/۶۵ × ۰/۵۲ + ۱/۹۹ = ۲/۶۵ × ۰/۷۵) که با دامنه‌ی تغییرات که در خاک‌های شنی با آن مواجه هستیم چندان تفاوت ندارد.

^۲ - Well sorted

^۳ - Well graded

^۴ - بیشتر معماران فضای سبز تجارتي و مهندسین در ایالات متحده هنوز از واحدهای انگلیسی استفاده می‌کنند برای تبدیل مقادیر چگالی ظاهری در واحد Mgm^{-3} به lb/yd^3 (پوند در یارد مکعب) آنرا باید در ۱۶۸۶ ضرب کنیم بنابراین یک یارد مکعب از خاک معدنی بافت متوسط با چگالی ظاهری ۱/۲۵ Mgm^{-3} بیشتر از یک تن انگلیسی وزن دارد و دارای ۲۱۰۸ پوند وزن است (۱/۲۵ × ۱۶۸۶)

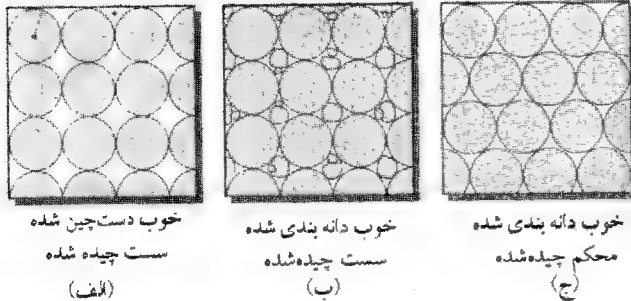
^۵ $1 \text{ Mgm}^{-3} \times 10^6 \text{ kg/m}^3 \times 0.015 \text{ m} \times 10,000 \text{ m}^2 = 150,000 \text{ kg}$ که تقریباً معادل ۲ میلیون کیلوگرم در هر هکتار با عمق ۱۵ سانتی‌متر می‌باشد. رقم مشابه در نظام انگلیسی ۲ میلیون پوند در یک ایکر با عمق ۶ تا ۷ اینچ می‌باشد



شکل ۱۶-۴ مقایسه‌ی نموداری خاک‌های شنی و رسی نشان‌دهنده‌ی مقدار نسبی منافذ درشت (ماکروپورها) و منافذ کوچک (میکروپورها) در هر یک. حجم کلی منافذ در خاک‌های شنی در مقایسه با خاک‌های رسی کمتر است زیرا خاک‌های رسی دارای تعداد زیادی منافذ ریز در داخل هر خاکدانه می‌باشند (الف)، اما ذرات شن (ب)، که از نظر اندازه مشابه خاکدانه‌های رسی می‌باشند، فاقد منافذ کوچک در ذرات جامد خود بوده و این دلیل سنگین بودن خاک‌های بافت درشت به‌طور معمول در مقایسه با خاک‌های بافت ریز در خاک‌های سطحی می‌باشد.

شکل ۱۷-۴ یکتواختی اندازه ذرات و نحوه چیده شدن ذرات در چگالی ظاهری خاک‌های شنی بسیار مؤثر است. به موادی که از ذرات هم‌اندازه تشکیل شده‌اند، خوب دست‌چین شده (با دانه‌بندی ضعیف) اطلاق می‌شود. و موادی که دارای اندازه‌های مختلف ذرات می‌باشند، خوب دانه‌بندی شده (بد دست‌چین شده) اطلاق می‌گردد در هر دو حال، تراکم مواد به صورت چیده شدن متراکم سبب افزایش چگالی ظاهری مواد و کاهش تخلخل آن خواهد شد. توجه کنید که توزیع اندازه‌ی ذرات شن و سنگریزه می‌تواند به وسیله هر دو واژه، که مخالف یکدیگرند بیان شود. زمین‌شناسان معمولاً از رودخانه‌هایی صحبت می‌کنند که دارای ذرات شن یکتواخت در هنگام ته‌نشینی می‌باشند. مهندسين معمولاً متوجه این قضیه هستند که آیا شن از دانه‌بندی خوب برخوردار است یا نه

منافذ ذره‌ی شن



عملیات مدیریتی مؤثر در چگالی ظاهری

تغییرات در چگالی ظاهری در یک خاک به آسانی اندازه‌گیری شده و می‌تواند مدیران خاک را از تغییرات کیفیت خاک و ایفای نقش بوم‌سامان آگاه کند. افزایش در چگالی ظاهری می‌تواند دلالت بر یک محیط نامناسب برای رشد ریشه، کاهش تهویه و تغییرات نامطلوب در ایفای نقش آب‌شناسی مانند کاهش نفوذپذیری باشد.

اراضی جنگلی: افق سطحی اکثر خاک‌های جنگلی دارای چگالی ظاهری نسبتاً کمتری می‌باشد (شکل ۱۵-۴ را مشاهده کنید). رشد درخت و انجام وظیفه‌ی بوم‌سامان جنگلی مخصوصاً به افزایش چگالی ظاهری حساس است. برداشت سستی الوار معمولاً سبب بهم‌زدن و تراکم ۲۰ تا ۴۰ درصد سطح جنگل می‌شود (شکل ۱۸-۴) و به‌خصوص در طول مسیرهای کشش چوب و محل خالی‌کردن الوار و تل انبارکردن و بارگیری آن‌ها خسارت بار می‌باشد (جدول ۳-۴). یک روش پرهزینه اما مؤثر در انتقال تنه‌ها برای به‌حداقل رساندن تخریب اراضی جنگلی ناشی از تراکم، استفاده از سیم‌های انتقال نصب‌شده در بین برج‌ها و یا آویزان به وسیله یال‌های بزرگ می‌باشد.

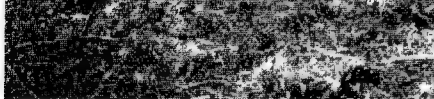
استفاده تفرجی شدید از خاک‌های جنگلی می‌تواند منجر به افزایش چگالی ظاهری در مناطقی که دارای رفت‌وآمد شدید است مانند مسیرها و محل‌های چادرزدن گردد (شکل ۹-۴). یکی از پی‌آمدهای مهم افزایش چگالی ظاهری کاهش ظرفیت نفوذپذیری خاک و هدررفت شدید آب بر اثر رواناب سطحی می‌باشد. خسارت ناشی از پیاده‌روی را می‌توان با محدودکردن رفت‌وآمد پیاده‌روها به مسیرهای خوب طراحی شده، که شامل یک لایه پوشش تراشیده چوب است و یا در صورت وجود اراضی حساس آسیب‌پذیر مانند زمین‌های ماندابی ساختن مسیرهای تخته‌ای بالا آمده از سطح زمین می‌باشد به کمترین مقدار رساند.

درختان کاشته شده در خاک‌های متراکم ممکن است از رشد عادی بازمانده و یا بمیرند، هرچند بعضی از عملیات می‌توانند در توسعه‌ی عادی ریشه درختان و رشد درخت به ما کمک کنند. در مقدمات بازکاری درختان پس از جنگل‌تراشی کامل، بعضی از خاک‌های جنگلی (به‌خصوص در مناطق نسبتاً سطح) ممکن است به وسیله عملیات خاک‌ورزی مشابه به اراضی کشاورزی (بحث‌های بعدی را مطالعه کنید) نرم و آماده‌ی بستر کشت گردند، هرچند ممکن است این عملیات سبب تراکم خاک‌های تحت‌الارض و هدررفت ماده‌ی آلی گردند.

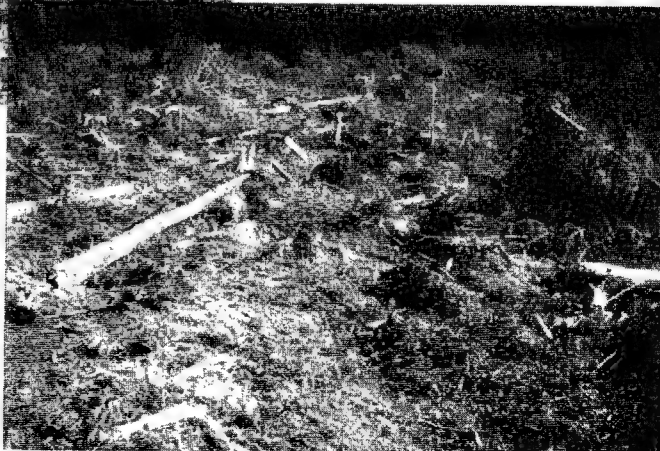
در مناطق شهری، درختان کشت شده به منظور فضای سبز ممکن است با خاک‌های بسیار متراکم مواجه شوند درحالی‌که تغییر خاک سرئاسر منطقه ریشه درخت عملی نیست. عملیات چندی می‌تواند به ما کمک کند (بخش ۷-۷ را نیز مشاهده کنید) اول ایجاد چاله بسیار بزرگ غرس تا حد مقدور، تا منطقه‌ای از خاک سست را برای رشد سریع ریشه فراهم کند. دوم پخش یک لایه ضخیم خاک‌پوش به سایه‌انداز درخت (نه در نزدیک تنه) برای تسريع در رشد ریشه حداقل در نزدیکی سطح خاک سوم باید مسیرهایی برای توسعه ریشه‌ها با حفر مجموعه‌ای از خندق‌های باریک که از حفره‌ی کشت منشعب شده‌اند ایجاد کرده و از خاک سست و غنی دوباره آن‌را پر کنیم.



(ب)



(الف)



شکل ۱۸-۴ (الف) برداشت الوار به وسیله ی چوبکش های سستی چرخ لاستیکی در یک جنگل منطقه ی سردسیر در البرتای شمالی در کانادا و (ب) نتیجه ی به هم خوردن در افق های خاک سطحی (کف جنگل). این عملیات سبب تراکم قابل توجه خاک می شود که می تواند در اعمال بوم سامان برای سالیان دراز خلل وارد کند عملیات برداشت الوار که می تواند از این خسارات جلوگیری کند شامل قطع انتخابی درختان^۱، استفاده از خودروهای قابل انعطاف، حمل و نقل هوایی چوب ها و جلوگیری از برداشت درختان در شرایط مرطوب است.

اراضی کشاورزی

اگرچه خاک ورزی ممکن است به طور موقت سبب سست شدن خاک سطحی شود اما در طولانی مدت خاک ورزی سنگین سبب افزایش چگالی ظاهری خاک خواهد شد. زیرا سبب تخلیه ماده ی آلی و ضعف ساختمان خاک (بخش ۸-۴ را مشاهده کنید) می شود. اطلاعات موجود در جدول ۴-۴ حاکی از این شیوه ی کاهش است. داده ها حاصل مطالعات طولانی مدت در مناطق مختلف است که در آن ها خاک های نسبتاً دست نخورده با مناطق مجاور، که به مدت ۲۰ تا ۹۰ سال زیر کشت بوده اند، مقایسه گردیده است. در تمام موارد کشت و کار سبب افزایش چگالی ظاهری خاک سطحی گردید. اثر کشت و کار را می توان با اضافه کردن پس مانده های گیاهی و یا کود دامی در مقادیر زیاد، و تناوب گیاهان زراعی، گیاهان چمنی به حداقل رساند.

در کشاورزی نوین ماشین آلات سنگین که برای کشیدن ادوات و یا مصرف مواد اصلاحی و یا برداشت محصولات زراعی به کار می روند می توانند تراکم های محدود کننده ی رشد را در خاک به وجود آورند. بعضی از ادوات مانند گاواهن برگردان دار، و دیسک های خاک بردان^۲، خاک را در زیر عمق کار خود ضمن بالا آوردن و سست کردن خاک فوقانی متراکم می کنند. استفاده از این ادوات و یا تردد مرتب در مزرعه ها با ماشین آلات سنگین می تواند سخت لایه های شخم^۳ و یا سخت لایه های متراکم حمل و نقل را بلافاصله در زیر لایه شخم به وجود آورد (شکل ۲۰-۴) سایر ادوات خاک ورزی مانند شخم اسکنه^۴ و دندانه های فنری^۵ بر روی خاک زیر خود فشار نمی آورند و بنابراین برای

^۱ - Selecting cutting

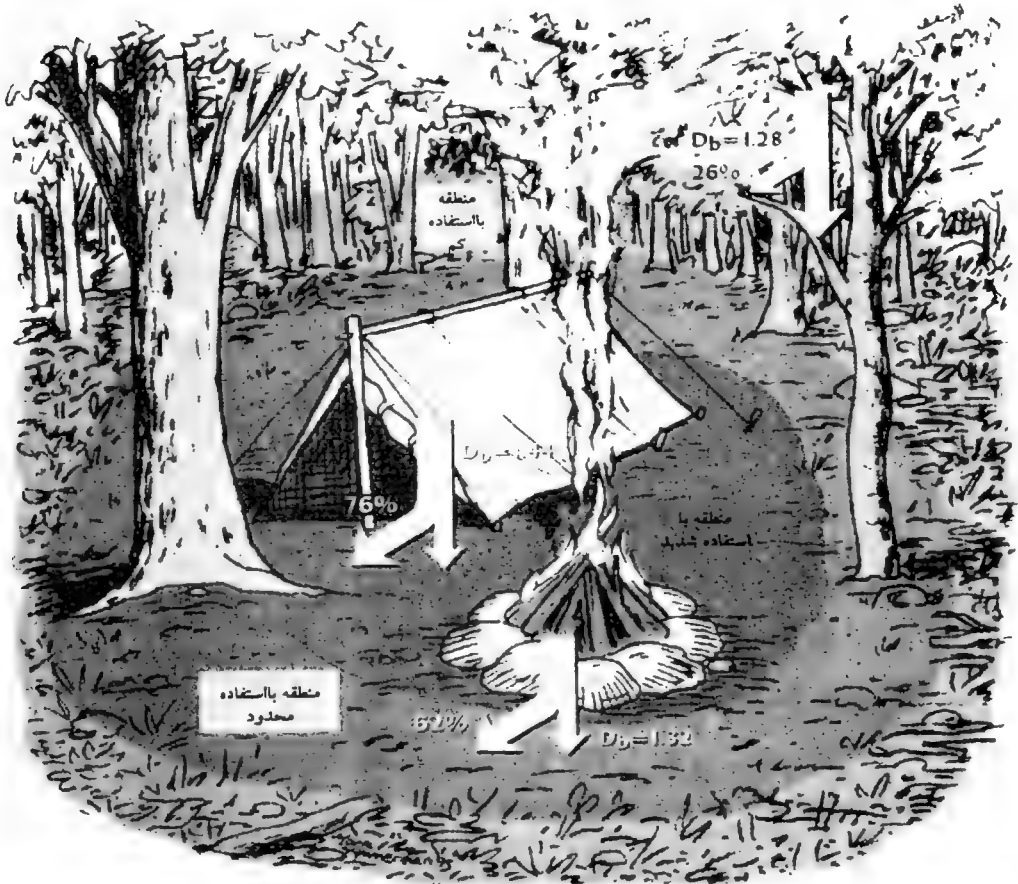
^۲ - Disk harrow

^۳ - Plow Pan

^۴ - Chisel plow

^۵ - Spring tooth harrow

شکستن سخت لایه شخم و به هم زدن خاک بدون کوچک‌ترین تراکم مفید می‌باشند. گاوآهن‌های بزرگ چیزل مانند می‌توانند برای شکستن لایه‌های متراکم تحت‌الارضی و یا زیر کنی^۱ (شکل ۲۱-۴) به کار روند. هرچند در بسیاری از خاک‌ها اثر خرد کردن خاک تحت‌الارضی کاملاً موقتی است (شکل ۲۲-۴). هر نوع عملیات خاک‌ورزی تمایل دارد که سبب کاهش مقاومت خاک گردیده و بنابراین خاک را در مقابل تراکم بعدی حساس‌تر می‌سازد.

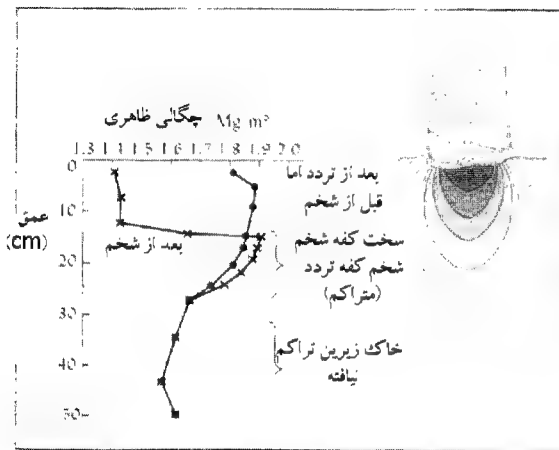


شکل ۱۹-۴ اثر محل‌های نصب چادر در چگالی ظاهری خاک‌های جنگلی و اثرات بعدی بر میزان نفوذ آب باران در خاک و هدررفت رواناب (پیکان‌های سفید را مشاهده کنید). در اکثر محل‌های نصب چادر مناطق با حداکثر تراکم به فاصله ۱۰ متر از حلقه ایجاد آتش و یا پای چادر فاصله دارند. مدیران اراضی تفرجگاهی باید به‌دقت چگونگی حفاظت خاک‌های حساس را در مقابل تراکم، که ممکن است سبب از بین رفتن پوشش گیاهی و افزایش فرسایش گردد، مورد ملاحظه قرار دهند.

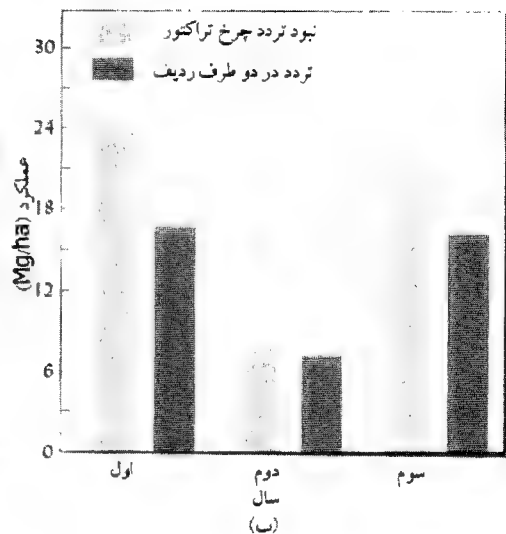
حمل و نقل به‌خصوص در روی خاک مرطوب خسارت‌بار است. معمولاً با بار سنگین‌تر و در خاک‌های مرطوب‌تر اثرات تراکم بسیار چشم‌گیر بوده و به‌مقدار عمیق‌تری در خاک‌رخ خاک انتشار می‌یابد. برای جلوگیری از تراکم که می‌تواند سبب کاهش عملکرد و سوددهی گردد، تعداد عملیات خاک‌ورزی و تردد ماشین‌آلات سنگین در مزرعه باید به‌حداقل رسیده و در مواقعی که خاک مرطوب است باید از انجام آن خودداری گردد متأسفانه رفت‌وآمد بر روی خاک‌های مرطوب کشاورزی در مناطق پر باران معتدل در پاییز و بهار غیر قابل اجتناب است. راه‌کار دیگر برای به‌حداقل رساندن تراکم، اختصاص دادن دقیق تمام رفت‌وآمدهای ماشین‌آلات چرخ‌دار در مسیرهای به‌ویژه و باقی گذاشتن بقیه سطح مزرعه (حدود ۹۰٪ و یا بیشتر) فارغ از تراکم می‌باشد. این نظام‌های مدیریت رفت‌وآمد^۲ به‌طور گسترده‌ای در اروپا به‌خصوص در خاک‌های رسی به‌کار می‌رود. مدیریت رفت‌وآمد را می‌توان در باغچه‌های خانگی با ایجاد مسیرهای پیاده‌رو در بین بسترهای کشت انجام داد. این مسیرها را می‌توان با پوشش سنگین خاک‌پوش، کشت با چمن‌های متراکم و یا پوشش سنگ‌های مسطح ایجاد نمود.

^۱ - Subsoiling

^۲ - Controlled traffic



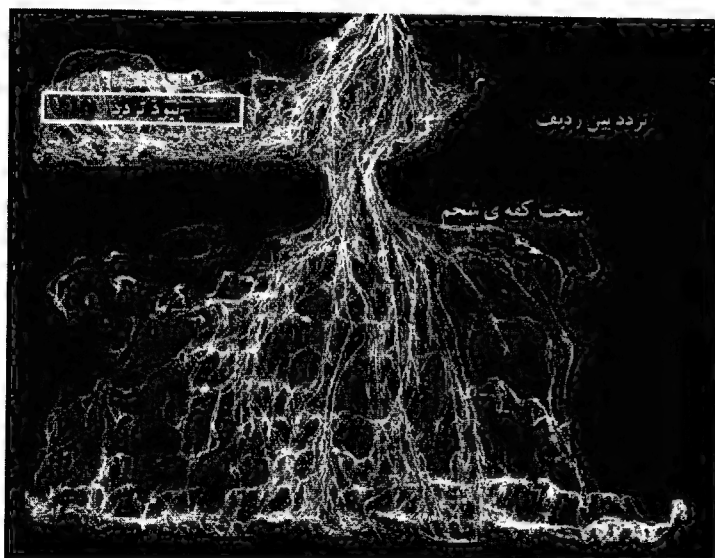
(الف)



(ب)

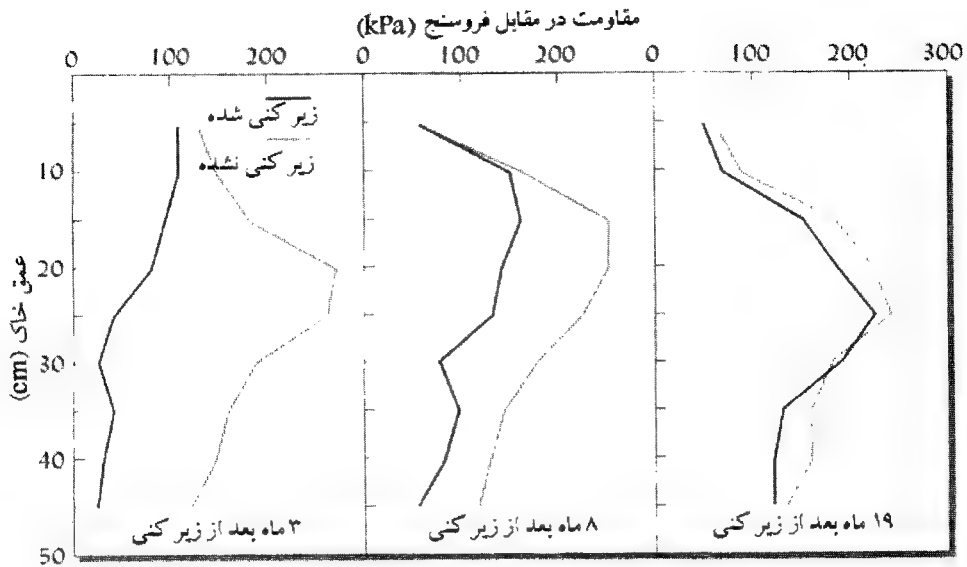
شکل ۲۰-۴ تراکتورها و سایر ادوات سنگین سبب تراکم خاک تا عمق قابل ملاحظه‌ای شده و سبب افزایش چگالی ظاهری و کاهش رشد و عملکرد نبات می‌شوند. وقتی خاک مرطوب است تردد بر روی آن به‌خصوص خسارت بار خواهد بود. (الف) چرخ یک تراکتور سنگین یک خاک لوم شنی را تا عمق ۳۰ سانتی‌متر متراکم می‌کند و سبب ایجاد یک سخت لایه‌ی ترددی^۱ می‌شود. شخم‌زدن به‌طور موقت سبب سست‌شدن خاک سطحی متراکم شده (لایه شخم) می‌گردد اما سبب تراکم خاک درست در زیر لایه شخم، و ایجاد یک لایه مرکب (شخم و تردد) می‌شود. وزن مخصوص ظاهری بیشتر از ۱/۸ مگاگرم در مترمکعب از انتشار ریشه پنبه در این موارد جلوگیری می‌کند. (ب) عملکرد سیب‌زمینی با نسبت ۲ سال از ۳ سال در خاک لوم رسی در ایالت مینوسوتای آمریکا کاهش یافت. کاهش عملکرد در سال‌های نسبتاً خشک که گیاهان نیاز بیشتری به رطوبت خاک زیرین دارند چشم‌گیرتر است.

بعضی از مدیران خاک تلاش می‌کنند که با راهبرد مخالف، از تایرهای عریض خاص در ادوات سنگین برای توزیع وزن بر روی سطح بیشتری از خاک استفاده کنند و میزان فشار را در واحد سطح کاهش دهند (شکل ۲۳-۴ الف). تایرهای عریض‌تر گرچه اثرات تراکم را کاهش می‌دهند اما درصد سطح خاک را که در آن تراکم صورت می‌گیرد افزایش می‌دهند. در روش مشابه با استفاده از تایرهای عریض، باغداران خانگی می‌توانند از تراکم وزن خود (درست بر روی چند سانتی‌متر سطح کفش خود) با ایستادن بر روی تخته چوب‌ها در هنگام تهیه بستر کشت در خاک‌های مرطوب، اجتناب کنند (شکل ۲۳-۴ ب).



شکل ۲۱-۴ توزیع ریشه نبات پنبه. در سمت راست رفت‌وآمد تراکتورها و شخم‌زدن در بین ردیف‌های کشت سبب ایجاد سخت لایه شخم شده است که از رشد ریشه جلوگیری می‌کند. در سمت چپ که رفت‌وآمد تراکتور دیده نمی‌شود ریشه‌ها بسیار گسترش یافته‌اند. مشاهده می‌شود که ریشه‌ها از طریق یک منطقه سست که به وسیله ادوات چسزل مانند ایجاد شده‌اند به‌داخل تحت‌الارض وارد شده‌اند.

¹ - Traffic pan



شکل ۲۲-۴ خاک‌ورزی عمیق به وسیله‌ی گاواهن اسکته‌ای بزرگ که بعضی مواقع به آن زیرکن^۱ گفته می‌شود، سبب شکسته شدن سخت لایه شخم در تحت‌الارض و کاهش مقاومت و چگالی می‌شود که با اندازه‌گیری مقاومت خاک در مقابل نفوذسنج^۲ مشخص می‌شود. وقتی خاک رسی تحت‌الارض به اندازه کافی خشک باشد و کشیدن اسکته بتواند جرم خاک را متلاشی کند، زیرکنی می‌تواند بسیار مؤثر به انجام رسد گرچه اثرات آن معمولاً کوتاه مدت می‌باشد. در خاک‌های التی‌سول دشت ساحلی فلوریدا که در این شکل معرفی شده است، عملیات زیرکن سبب کاهش فوق‌العاده مقاومت خاک به انتشار ریشه در چند ماه گردید. هرچند تفاوت بین خاکی که زیر کنی شده با خاکی که زیر کنی نشده بعد از ۸ ماه کمتر قابل تشخیص بود، این اثرات عمدتاً بعد از ۱۹ ماه قابل تشخیص نبود. همین‌طور در این آزمایش، زیرکنی سبب تولید عملکرد بیشتر ذرت در سال اول گردید اما بعد از انجام شخم عمیق میزان عملکرد در سال دوم افزایش نیافت.



(الف)



(ب)

شکل ۲۳-۴ روشی برای کاهش تراکم، توزیع بار اعمال شده به سطح بزرگ‌تر است. چرخ‌های فوق‌العاده عریض در خودروهای سنگین که برای توزیع مواد اصلاح کننده به کار می‌روند (سمت چپ) و ایستادن بر روی یک تخته چوب در هنگام آماده کردن بستر کشت در اول بهار نمونه‌هایی از این روش می‌باشند.

^۱ - Subsoiler

^۲ - Penetrometer

تأثیر چگالی ظاهری بر مقاومت خاک در رشد ریشه

چگالی ظاهری بالا ممکن است در یک چهره خاکرخ طبیعی وجود داشته (برای نمونه سخت لایه‌های شکننده) و یا دلالت بر تراکم ناشی از دخالت بشر باشد. در هر حال، رشد ریشه در خاک‌های بسیار متراکم به دلایل چندی از جمله مقاومت خاک در برابر انتشار ریشه، تهویه ناقص، حرکت کند آب و عناصر غذایی و تجمع گازهای سمی و ترشحات ریشه دچار محدودیت می‌شود.

ریشه‌ها در داخل خاک با فشار دادن مسیر خود در منافذ خاک انتشار می‌یابند. اگر منافذ برای تطابق با کلاهک ریشه بسیار کوچک باشد کلاهک ذره خاک را فشار داده و کنار زده و منافذ را عریض می‌کند. تراکم در محل ریشه تا حدی سبب محدودیت رشد ریشه می‌شود، چون ریشه‌ها با منافذ کمتر و کوچک‌تری مواجه خواهند شد، هر چند، انتشار ریشه در اثر مقاومت خاک (خصوصیتی که سبب مقاومت خاک در مقابل تغییر است) دچار محدودیت می‌شود. روشی برای تعیین میزان مقاومت خاک اندازه‌گیری نیروی لازم برای راندن یک میله با نوک مخروطی (پترومتر) به داخل خاک است (فصل ۹-۴ را نیز مشاهده کنید). تراکم سبب افزایش چگالی ظاهری و مقاومت خاک می‌شود. حداقل دو عامل (هر دو در ارتباط با مقاومت خاک می‌باشند) برای تعیین تأثیر چگالی ظاهری در توانایی ریشه‌ها به انتشار در داخل خاک باید مورد ملاحظه قرار گیرند که عبارتند از میزان رطوبت و بافت خاک.

تأثیر میزان آب خاک: میزان آب خاک و چگالی ظاهری هر دو در مقاومت خاک موثر می‌باشند (شکل ۹-۴). مقاومت خاک در اثر تراکم خاک و افزایش چگالی ظاهری آن افزایش می‌یابد و همچنین وقتی خاک خشک و سخت می‌شود مقاومت خاک فزونی می‌یابد. بنابراین اثرات چگالی ظاهری بر روی رشد ریشه در خاک‌های نسبتاً خشک بسیار چشمگیر است، وقتی خاک مرطوب‌تر است برای جلوگیری از انتشار ریشه میزان چگالی ظاهری بیشتری لازم می‌باشد. برای نمونه یک سخت لایه‌ی تردی که دارای چگالی ظاهری ۱/۶ مگاگرم در مترمکعب است ممکن است از انتشار کامل ریشه‌ها وقتی خاک خشک است ممانعت کند، گرچه هنگامی که خاک مرطوب است، ریشه‌ها می‌توانند در همین لایه به آسانی انتشار یابند.

اثر بافت خاک: هر چه مقدار رس در خاکی بیشتر و یا میانگین قطر ذرات کوچک‌تر باشد، مقاومت به انتشار ریشه‌ها در وزن مخصوص ظاهری خاص بیشتر خواهد بود. بنابراین، اگر چگالی ظاهری یکسان باشد ریشه‌ها در یک خاک شنی مرطوب بسیار آسان‌تر از یک خاک مرطوب رسی انتشار خواهند یافت. انتشار ریشه‌ها معمولاً در داخل خاک مرطوب عمده‌تأ در دامنه‌ی ۱/۴۵ مگاگرم در مترمکعب در خاک‌های رسی و ۱/۸۵ مگاگرم در مترمکعب در خاک‌های شنی دچار محدودیت می‌شود (شکل ۱۵-۴). در این رابطه رشد ریشه‌ها احتمالاً در هر دو خاک تشریح شده در جدول ۳-۴ بر اثر چگالی ظاهری مسیرهای حرکت الوارکش‌ها دچار محدودیت گردیده است.

جدول ۳-۴ اثرات برداشت الوار بر چگالی ظاهری در اعماق مختلف ۲ خاک جنگلی اولتی-سول در ایالت جورجیا. الوارکش‌های لاستیکی برای برداشت الوار مورد استفاده قرار گرفتند. به چگالی بالایی لوم شنی در مقایسه با لوم رسی و اثرات بیشتر نحوه‌ی برداشت الوار بر روی مسیر تنه‌کش‌ها توجه کنید.

چگالی ظاهری Mgm^{-3}			عمق خاک سانتی‌متر
قبل از برداشت	بعدها برداشت در خارج مسیر چوبکش	بعد از برداشت در مسیر چوبکش	
			شن لومی - دشت ساحلی بالا
۱۲۵	۱/۵	۱۴۷	۸-۱۰
۱/۴	۱/۵۵	۱/۷۱	۱۵-۸
۱۵۴	۱/۶۱	۱۸۱	۲۳-۱۵
۱/۵۸	۱/۶۲	۱/۷۷	۳۰-۲۳
			لوم رسی - دشت دامنه‌ای
۱/۱۶	۱/۳۶	۱۵۲	۸-۱۰
۱/۳۹	۱/۴۹	۱/۶۷	۱۵-۸
۱/۵۱	۱/۵۱	۱/۶۶	۲۳-۱۰
۱/۴۹	۱/۴۶	۱/۶۱	۳۰-۲۳

۴-۶ منافذ خاک در خاک‌های معدنی

یکی از دلایل اصلی اندازه‌گیری وزن مخصوص ظاهری استفاده از آن برای محاسبه‌ی میزان منافذ خاک است. در خاک‌ها با چگالی ذرات (واقعی) یکسان هر چه چگالی ظاهری کمتر باشد درصد منافذ خاک (تخلخل کل) بیشتر خواهد بود. تابلو ۴-۶ را برای به‌دست‌آوردن معادله‌ای که این رابطه را تشریح می‌کند مطالعه کنید.

عوامل مؤثر در حجم کل منافذ خاک

در فصل یک (۱-۱۵) توجه دادیم که در خاک سطحی آرمانی بافت متوسط با ساختمان دانه‌ای در شرایط مناسب برای رشد گیاه، حدوداً ۵۰ درصد حجم خاک از منافذ تشکیل گردیده و حدود نصف حجم منافذ به‌وسیله‌ی هوا (عمدتاً در منافذ درشت) و نصف دیگر به‌وسیله‌ی آب (عمدتاً در منافذ ریز) اشغال شده است. در واقع تخلخل کل در میان خاک‌ها به همان دلیل که چگالی تغییر می‌کند متفاوت بوده و از ۲۵ درصد در خاک‌های تحت‌الارضی متراکم تا ۶۰ درصد در خاک‌های سطحی با ساختمان دانه‌ای خوب دارای ماده‌ی آلی زیاد متغیر می‌باشد. همان‌طور که برای چگالی ظاهری گفته شد، مدیریت کشاورزی می‌تواند تأثیر مشخصی بر حجم منافذ خاک اعمال کند (جدول ۴-۶). اطلاعات حاصل از خاک‌ها در دامنه‌ای گسترده نشان می‌دهد که کشت و کار سبب کاهش فضای کل منافذ در مقایسه با خاک‌های کشت نشده می‌باشد. این کاهش معمولاً با تقلیل ماده‌ی آلی و در پی آمد آن، با کاهش خاکدانه‌ای شدن همراه است.

اندازه‌ی منافذ خاک

ارقام چگالی ظاهری فقط در تعیین تخلخل کل کمک می‌کند. منافذ خاک دارای انواع بسیار متفاوتی از نظر اندازه و شکل می‌باشند. اندازه منافذ تا حد زیادی نقش منافذ را در خاک مشخص می‌کند. منافذ از نظر اندازه می‌توانند به منافذ درشت^۱، منافذ متوسط^۲ و منافذ ریز^۳ تقسیم گردند (جدول ۴-۵) یکی از این گروه‌بندی‌ها را نشان می‌دهد. بحث خود را در این مورد خلاصه کرده و در تشریح منافذ درشت (درشت‌تر از ۰/۰۸ میلی‌متر) و منافذ ریز (کوچک‌تر از ۰/۰۸ میلی‌متر) می‌پردازیم.

منافذ درشت: منافذ درشت امکان حرکت آزاد هوا و آب زه‌کشی را فراهم می‌کنند. آن‌ها دارای اندازه کافی برای تطابق با ریشه‌ها و جانداران کوچکی که در داخل خاک زندگی می‌کنند می‌باشند (فصل ۱۱ را مشاهده کنید). در شکل ۴-۲۴ چند نوع منافذ درشت تشریح شده است.

جدول ۴-۶ چگالی ظاهری و حجم منافذ خاک در خاک‌های سطحی کشت و کار شده به‌خصوص و در اراضی کاشت نشده‌ی مجاور آن (یک خاک زیر سطحی نیز آمده است).

خاک	بافت	سال‌های زیر کشت	چگالی ظاهری $Mg\ m^{-3}$		درصد حجم منافذ	
			کشت شده	کشت نشده	کشت شده	کشت نشده
یدالف (پنسیلوانیا)	لوم	۵۸	۱/۲۵	۱/۰۷	۵۰	۵۷/۲
یدول (ایوا)	لوم سیلتی	۵۰+	۱/۱۳	۰/۹۳	۵۶/۲	۶۲/۷
اکوالف (اوهایو)	لوم سیلتی	۴۰	۱/۳۱	۱/۰۵	۵۰/۵	۶۰/۳
یوستل (کانادا)	لوم سیلتی	۹۰	۱/۳۰	۱/۰۴	۵۰/۹	۶۰/۸
کمبید (کانادا)	رسی	۷۰	۱/۲۸	۰/۹۸	۵۱/۷	۶۳
کمبید (کانادا) (تحت‌الارض)	رسی	۷۰	۱/۳۸	۱/۲۱	۴۷/۹	۵۴/۳
معدل ۳ خاک استالف (زیمبابوه)	رسی	۲۰-۵۰	۱/۴۴	۱/۲۰	۵۴/۱	۶۲/۶
معدل ۳ خاک یوستالف (زیمبابوه)	لوم شنی	۲۰-۵۰	۱/۵۴	۱/۴۳	۴۲/۹	۴۷/۲

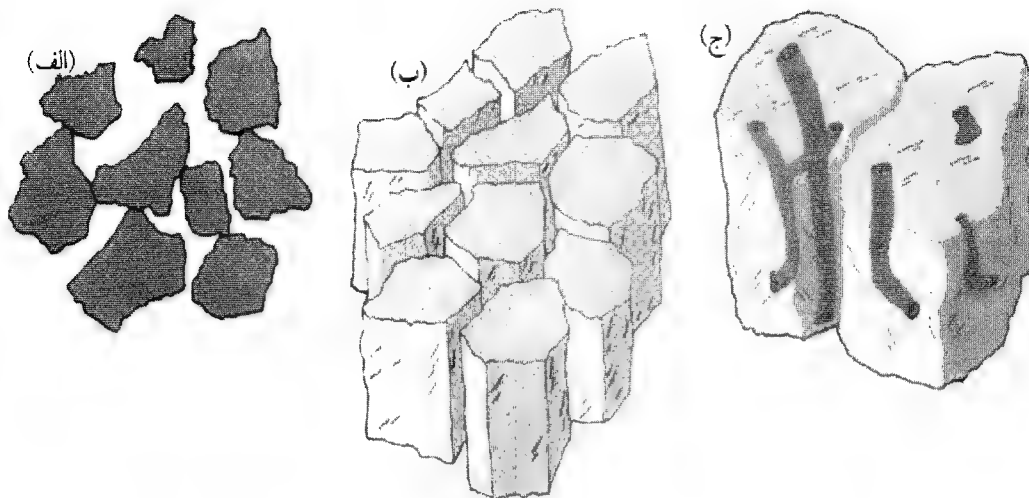
^۱ - Macropores

^۲ - Mesopores

^۳ - Micropores

جدول ۴-۵ طبقه‌بندی منافذ خاک بر حسب اندازه و بعضی از اعمال هر دسته از اندازه‌ها. اندازه‌ی منافذ مداوم بوده و مرز بین کلاس‌ها که در جدول ارائه شده غیرواقعی و تا حدی فرضی است. واژه‌ی ریز منافذ، به تمام اندازه‌هایی که از درشت منافذ کوچک‌ترند تعمیم داده می‌شود.

کلاس ساده شده	کلاس	دامنه قطر مؤثر m. m	خصوصیات و اعمال
درشت منافذ	درشت منافذ	$0.08-5$	معمولاً در بین خاکدانه‌ها یافت می‌شوند. آب در اثر ثقل زه‌کشی شده و به‌طور مؤثر سبب انتقال هوا می‌شود. بزرگی آن‌ها، برای تطابق با ریشه‌ی گیاهان و زیست‌گاه جانوران خاص خاک به‌اندازه‌ی پسته است.
ریز منافذ ↓	اندازه‌ی متوسط	$0.03-0.08$	سبب نگهداری آب بعد از زه‌کشی می‌شود، سبب انتقال آب در اثر عمل موینگی می‌شود با ریشه گیاهان و قارچ‌ها تطابق دارد
	ریز منافذ	$0.005-0.03$	معمولاً در داخل خاکدانه‌ها وجود دارد. آب نگهداری شده در آن برای گیاهان قابل استفاده است. برای اکثر باکتری‌ها تطابق دارد
	فوق‌العاده ریز ^۱	$0.0001-0.005$	معمولاً در رس‌ها یافت می‌شود. آب نگهداری شده به‌وسیله‌ی گیاهان قابل استفاده نیست فاقد اکثر ریزجانداران می‌باشد
	پنهان ^۲	< 0.0001	فاقد ریزجانداران است و برای ورود مولکول‌های درشت بسیار کوچک است.



شکل ۲۴-۴ انواع منافذ خاک. (الف) بسیاری از منافذ به‌صورت منافذ چیده شده ذرات که عبارتند از فضای باقیمانده‌ی بین ذرات اولیه‌ی خاک وجود دارند. اندازه و شکل این منافذ در ارتباط با شکل و اندازه‌ی ذرات اولیه رس، لای، شن و ترتیب چیده‌شدن آن‌ها می‌باشد. (ب) در خاک‌ها دارای واحدهای ساختمانی فضای بین واحدهای ساختمانی، منافذ بین ساختمانی را ایجاد می‌کنند. این منافذ از نظر شکل اکثراً مسطح بوده مانند ترک بین واحدهای ساختمانی منشوری، و یا ممکن است بسیار غیرمنتظم باشند مانند منافذی که بین واحدهای ساختمانی خاکدانه‌ای سست قرار دارند. (ج) منافذ زیستی به‌وسیله‌ی جانداران مثل کرم‌های خاکی، حشرات و ریشه‌ی گیاهان ایجاد می‌شوند. اکثر این منافذ طولانی و بعضی مواقع دارای انشعابات می‌باشند، اما بعضی به‌صورت حفره‌های گردی می‌باشند که حاصل لانه‌ی خالی شده‌ی حشرات و غیره می‌باشند.

^۱ - Ultramicropores

^۲ - Cryptomicropores

^۳ - Packing pores

منافذ درشت می‌توانند به‌صورت فضای بین ذرات جداگانه شن در خاک‌های بافت درشت یافت شوند. بنابراین گرچه خاک شنی دارای تخلخل کمتری است حرکت آب‌وهوا در داخل آن به‌طور تعجب‌آوری به‌دلیل غالبیت منافذ درشت سریع می‌باشد. در خاک‌های دارای ساختمان خوب، منافذ درشت معمولاً در بین واحدهای ساختمانی یافت می‌شوند. این منافذ بین واحدهای ساختمانی^۱ ممکن است به‌صورت فضای بین توده‌های خاکدانه‌های سست و یا سطوح ترک در بین واحدهای ساختمانی مکعبی و منشوری نزدیک به هم یافت شوند.

منافذ درشت ایجاد شده به‌وسیله‌ی ریشه‌ها، کرم‌های خاکی و سایر جانداران یکی از مهمترین منافذ را که منافذ زیستی^۲ نامیده می‌شوند تشکیل می‌دهد. این منافذ معمولاً دارای شکل لوله‌ای بوده و ممکن است به طول یک متر و بیشتر پیوستگی داشته باشند. در بعضی از خاک‌های رسی، منافذ زیستی شکل اصلی منافذ درشت بوده و سبب سهولت رشد ریشه‌ها می‌شود (جدول ۶-۴). گیاهان چند ساله مانند درختان جنگلی و گیاهان چمنی در ایجاد راه‌هایی که به‌عنوان مسیر حرکت ریشه گیاهان دیگر، سال‌ها پس از مرگ و پوسیده‌شدن ریشه‌ی خود عمل می‌کنند، به‌خصوص مؤثر می‌باشند. دو نوع از این ریشه‌راه‌ها هر یک با قطر ۸ میلی‌متر، در شکل ۱۹-۳ صفحات براق خاک‌های رسی و رتی‌سول را مشبک کرده‌اند.

واضح است که هم ساختمان و هم بافت خاک در تعادل بین منافذ درشت و منافذ ریز مؤثر می‌باشند. شکل ۲۵-۴ نشان می‌دهد که کاهش ماده‌ی آلی و افزایش میزان رس همراه با افزایش عمق که در بسیاری از خاک‌ها مشاهده می‌شود سبب تبدیل منافذ درشت به منافذ ریز می‌گردد. منافذ ریز: برخلاف منافذ درشت منافذ ریز در خاک‌های مزرعه معمولاً مملو از آب می‌باشند حتی اگر از آب هم پر نباشند آن‌ها برای تهویه مناسب بسیار ریزند. حرکت آب در منافذ ریز آهسته است و اکثر آب نگهداری شده در این منافذ برای گیاهان قابل استفاده نیست (فصل ۵ را مشاهده کنید). خاک‌های بافت ریز، به‌خصوص آن‌هایی که فاقد ساختمان دانه‌ای می‌باشند به‌رغم تخلخل کل بالا، ممکن است دارای منافذ ریز بیشتری بوده و حرکت آب و گاز در آن‌ها نسبتاً کند باشد. ممکن است تهویه، به‌خصوص در خاک تحت‌الارضی برای توسعه‌ی ریشه‌ها و فعالیت مطلوب میکروبی کافی نباشد. درحالی‌که منافذ درشت با ریشه‌ی گیاهان و ریزجانوران تطابق دارند. منافذ ریز کوچک‌تر (بعضی مواقع به آن‌ها منافذ خیلی ریز^۳ و منافذ پنهان^۴ می‌گویند) برای ورود باکتری‌ها بسیار ریز می‌باشند بنابراین آن‌ها به‌عنوان منطقه حفظ‌کننده‌ی ماده‌ی آلی در طی هزاران سال عمل می‌کنند (فصل ۱۲).

اندازه‌ی منافذ انفرادی در مقایسه با حجم کل آن‌ها عامل مهمی در تعیین میزان زه‌کشی، تهویه و سایر فرایندهای خاک می‌باشد. سست کردن و خاکدانه‌ای شدن خاک‌های دارای منافذ ریز سبب ارتقاء تهویه، نه چندان در اثر افزایش حجم کل منافذ، بلکه بر اثر افزایش نسبت منافذ درشت می‌گردد.

کشت و کار و اندازه‌ی منافذ: کشت و کار مداوم، به‌خصوص در خاک‌هایی که در ابتدا ماده‌ی آلی بالایی داشته‌اند اغلب سبب کاهش منافذ درشت خاک می‌شود. اطلاعات مربوط به خاک بافت ریز در تگزاس (جدول ۷-۴) این اثر را به روشنی تشریح می‌کند. کشت و کار با عملیات خاک‌ورزی انجام شخم سبب کاهش ماده‌ی آلی خاک و کل منافذ خاک به‌طور معنی‌دار گردید. اما مسأله بسیار قابل توجه اثر کشت و کار بر اندازه‌ی منافذ خاک است. مقدار منافذ درشت خاک که لازمه‌ی حرکت آسان هوا می‌باشد، به حدود نصف کاهش یافت. نمونه‌های گرفته شده از عمق یک متری نشان داد که کاهش در اندازه منافذ تا ژرفای زیادی در خاک‌رخ ادامه داشته است. (داده‌ها نشان داده نشده است).

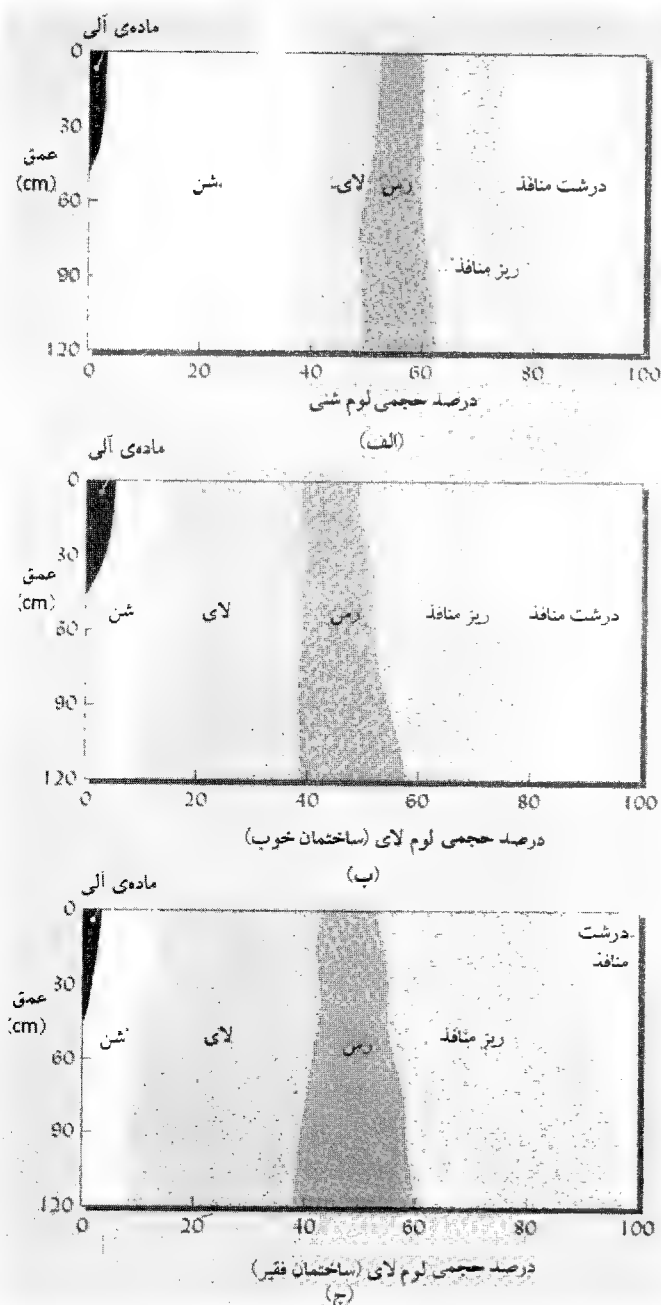
در سال‌های اخیر، عملیات خاک‌ورزی حفاظتی، که شخم‌زدن و دیگر عملیات همراه آن‌را به حداقل می‌رساند، در آمریکا به‌طور گسترده‌ای مورد قبول قرار گرفته است (بخش‌های ۳-۴ و ۷-۱۷). به‌خاطر تجمع مواد آلی در نزدیکی سطح خاک و ایجاد شبکه‌ای از منافذ درشت بادوام (به‌خصوص منافذ زیستی)، بعضی از نظام‌های خاک‌ورزی حفاظتی سبب ایجاد تخلخل درشت در لایه‌های سطحی خاک می‌شوند. این مزایا مخصوصاً به‌نظر می‌رسد در خاک‌ها با حفره‌های زیاد کرم خاکی صورت پذیرد که در نبود عملیات خاک‌ورزی دست‌نخورده باقی می‌مانند. متأسفانه این بهبودها در تخلخل همیشه صورت نمی‌گیرد، در بعضی شرایط حجم منافذ خاک در عملیات خاک‌ورزی کمتر از خاک‌ورزی سنتی بوده است. مسأله‌ای که در خاک‌های دارای زه‌کشی داخلی ضعیف قابل توجه می‌باشد.

¹ - Interped pores

² - Biopores

³ - Ultramicropores

⁴ - Cryptomicropores



جدول ۶-۴ توزیع ریشه‌های کاج لابلالی در اندازه‌های مختلف در ماتریکس خاک و در ریشه‌راه‌های قدیمی در یک متر فوقانی خاک‌رخ در رده‌ی التی‌سول در کارولینای جنوبی.

ریشه‌راه‌ها معمولاً دارای قطر ۱ تا ۵ سانتی‌متر بوده و از خاک سست سطحی و ماده‌ی آلی پوسیده پر شده‌بودند. انتشار ریشه‌ها آسان بوده و دارای حاصلخیزی و تهویه‌ی بهتری از خاک اطراف‌بودند.

اندازه‌ی قطر ریشه	تعداد ریشه‌های شمارش شده در یک متر مربع خاک‌رخ		
	ماتریکس خاک	ریشه‌راه‌های قدیمی	افزایش نسبی تراکم ریشه در ریشه‌راه‌های قدیمی درصد
ریشه‌های ریز کمتر از ۴ میلی‌متر	۲۱۱	۳۶۱۷	۹۴
ریشه‌های متوسط ۴-۲۰ میلی‌متر	۲۰	۳۶۱	۹۴
ریشه‌های درشت ۲۰ > میلی‌متر	۳	۱۵۵	۹۸

تابلو ۴-۴ محاسبه درصد حجم منافذ خاک

چگالی ظاهری یک خاک می‌تواند به آسانی اندازه‌گیری شود و چگالی ذرات معمولاً می‌تواند ۲/۶۵ مگاگرم در مترمکعب برای خاک‌های معدنی عمده‌تاً سیلیکاتی فرض شود. از طرف دیگر اندازه‌گیری مستقیم حجم منافذ در خاک نیازمند فن‌آوری‌های بسیار پرهزین و پرهزینه می‌باشد. بنابراین، وقتی اطلاعاتی از درصد منافذ خاک موردنیاز می‌باشد. مطلوب این است که حجم منافذ را از اطلاعات موجود درباره‌ی چگالی ظاهری و چگالی ذرات محاسبه کنیم. طرز به‌دست‌آوردن رابطه‌ای که برای محاسبه حجم منافذ خاک به‌کار می‌رود به‌قرار زیر است :

بافرض Db برای چگالی ظاهری و Dp برای چگالی ذرات، Vs وزن ذرات جامد، Vs حجم ذرات جامد، Vp حجم منافذ و Vt=Vs+Vp حجم کل خاک، طبق تعریف داریم :

$$D_o = \frac{W_s}{V_s + V_p} \cdot D_p = \frac{W_s}{V_t}$$

اگر Vs را در هر یک به‌دست‌آورده و نتیجه را مساوی هم قرار دهیم. داریم: Vs(Vs+Vp)=Dp Vs و یا

$$\frac{Db}{Dp} = \frac{Vs}{Vs + Vp}$$

حال به‌جای Vs، Vs-Vp و به‌جای Vs+Vp معادل Vt را قرار می‌دهیم. داریم:

$$\frac{Db}{Dp} = \frac{Vs - Vp}{Vt}$$

که پس از ساده‌کردن داریم:

$$\frac{Db}{Dp} = 1 - \frac{Vp}{Vt}$$

پس از تنظیم مجدد روابط داریم:

$$\frac{Vp}{Vt} = 1 - \frac{Db}{Dp}$$

که در آن $\frac{Vp}{Vt}$ نسبت حجم منافذ به حجم کل می‌باشد. درصد حجم منافذ نسبت به حجم کل خاک با ضرب $\frac{Vp}{Vt}$ در عدد ۱۰۰ به‌دست می‌آید که عبارتست از:

$$^o_0 = 100 - (100 \times \frac{Db}{Dp})$$

حجم منافذ .

مثال : با فرض خاک رسی کمبید کانادا در جدول ۴-۴ چگالی ظاهری $1/28 \text{ Mg m}^{-3}$ تعیین شده است و چون عددی در مورد چگالی حقیقی نداریم آنرا معادل $2/65 \text{ Mg m}^{-3}$ برای کانی‌های سیلیکاتی معمولی در نظر میگیریم. برای محاسبه درصد حجم منافذ مطابق رابطه‌ی فوق داریم : درصد $51/7 = 100 - 100(1/28 \div 2/65) = 100 - 42/3$ درصد حجم منافذ. این رقم به درصد حجم آب‌وهوا در خاک یا خاکدانه‌سازی خوب و بافت متوسط تا ریز با شرایط خوب برای رشد گیاهان کاملاً نزدیک است. این محاسبات ساده چیزی در مورد مقدار نسبی فضاهای بزرگ و کوچک به‌دست نمی‌دهد؛ بنابراین باید با احتیاط تفسیر گردند.

برای خاک‌های مشخص، نادرست خواهد بود که چگالی حقیقی را مشابه کانی‌های سیلیکاتی ۲/۶۵ مگاگرم در مترمکعب فرض کنیم. برای نمونه ماده‌ی آلی دارای چگالی حقیقی بسیار کمتری از کوارتز بوده بنابراین در یک خاک با درصد مواد آلی بالا انتظار بر این است که چگالی ذرات کمتر از ۲/۶۵ مگاگرم در مترمکعب باشد. به‌همین نحو، خاکی که از کانی‌های اکسید آهن غنی باشد دارای چگالی حقیقی بیش از ۲/۶۵ خواهد بود. زیرا این کانی‌ها دارای Dp در حدود ۳/۵ می‌باشند. به‌عنوان مثالی از نوع دوم خاک، اجازه دهید فرض کنیم که خاک‌های رسی کشت‌وکار نشده در زیمبابوه (استالفز) که در جدول ۴-۴ تشریح گردید مورد نظر باشد. این رس‌های قرمز رنگ دارای مقادیر زیاد اکسید آهن می‌باشد. چگالی ذرات که برای این خاک‌ها ۳/۲۱ محاسبه شده است، در جدول ۴-۴ نشان داده نشده است. با استفاده از این عدد و عدد چگالی ظاهری از جدول ۴-۴، حجم منافذ چنین به‌دست می‌آید:

$$62/6 - 100(1/21 \div 3/21) = 100 - 100 \times \text{درصد حجم منافذ}$$

چنین درصد بالای حجم منافذ خاک بر این دلالت دارد که این خاک در شرایط متراکم نشده با خاکدانه‌سازی خوب می‌باشد که شاخص خاک‌هایی است که در زیر پوشش طبیعی دست نخورده یافت می‌شوند.

جدول ۷-۴ اثر حدود ۵۰ سال کشت و کار مداوم در فضای منافذ درشت و ریز در یک خاک سول بافت ریز (هاتسون بلاک کلی)^۱ در تگزاس در مقایسه با مرغزار دست نخورده (خاک بکر) خاک شخم خورده دارای منافذ درشت بسیار کمتری بود اما با تخریب خاکدانه‌ها صاحب مقداری منافذ ریز گردید که در اثر تغییر منافذ درشت بین خاکدانه‌ای به منافذ ریز کوچک‌تر ایجاد شده بود هدررفت فضای منافذ درشت احتمالاً در اثر هدررفت ماده‌ی آلی بود که در جدول آشکار می‌باشد.

وضعیت خاک	عمق	درصد ماده‌ی آلی	درصد کل منافذ	درصد منافذ درشت	درصد منافذ ریز	وزن مخصوص ظاهری Mgm^{-3}
مرتع بکر	۱۵-۰	۵/۶	۵۸/۳	۳۲/۷	۲۵/۶	۱/۱۱
۵۰ سال کشت و کار	۱۵-۰	۲/۹	۵۰/۲	۱۶/۰	۳۴/۲	۱/۳۳
مرتع بکر	۳۰-۱۵	۴/۲	۵۶/۱	۲۷	۲۹/۱	۱/۱۶
۵۰ سال کشت و کار	۳۰-۱۵	۲/۸	۵۰/۷	۱۴/۷	۳۶/۰	۱/۳۱

۷-۴ تشکیل و پایداری خاکدانه‌ها

تشکیل و نگهداری خاکدانه‌ها یکی از مشکل‌ترین کارهای مدیریت خاک می‌باشد و از آنجاکه عامل قوی بسیار مؤثری در اداره بوم‌سامان است از این نظر نیز مهم می‌باشد. تنظیم خاک‌های سطحی با خاکدانه‌های ساختمانی نسبتاً بزرگ سبب ایجاد چگالی کم و نسبت بالایی از منافذ درشت می‌شود که برای اکثر کاربری‌ها مطلوب می‌باشد.

بعضی از خاکدانه‌ها به آسانی در مقابل ضربات قطرات باران و مالش و کشش شخم و امی‌روند. دیگر خاکدانه‌ها در مقابل جداشدن مقاومت می‌کنند بنابراین سبب حفظ ساختمان مناسب می‌شوند (اشکال ۳۰-۴ و ۳۱-۴). معمولاً هر چه خاکدانه‌ها کوچک‌تر باشند نسبت به خاکدانه‌های درشت‌تر پایدارتر بوده بنابراین نگهداری ساختمان‌های درشت به تلاش بیشتری نیازمند است.

ما راه‌های عملی مدیریت ساختمان خاک را پس از بررسی عوامل مؤثر در ایجاد خاکدانه‌ها و پایداری آن‌ها را پس از تشکیل مورد تشریح قرار می‌دهیم. از آنجاکه هر دو مجموعه عوامل همزمان عمل می‌کنند بعضی مواقع تشخیص اثرات نسبی آن‌ها در تکامل خاکدانه‌های پایدار در خاک مشکل می‌باشد.

نظام سلسله مراتب^۲ در خاکدانه‌ها*

خاکدانه‌های بزرگ (بزرگ‌تر از ۱ میلی‌متر)، که برای اکثر کاربری‌های خاک بسیار مطلوبند از خاکدانه‌های کوچک‌تری تشکیل شده و آن‌ها نیز از واحدهای کوچک‌تری تا حد خوشه‌های رسی و هموس، که دارای قطر کمتر از ۰/۰۰۱ میلی‌متراند ایجاد شده‌اند. شما می‌توانید این نظام سلسله مراتب خاکدانه‌ای را با انتخاب چند خاکدانه درشت خاک و با فشردن آرام و یا جداکردن برای تفکیک آن‌ها به تعداد زیادی خاکدانه‌های کوچک‌تر و سپس مالیدن کوچک‌ترین خاکدانه‌ها بین انگشت شست و اشاره به نمایش بگذارید. شما درخواهید یافت که اکثر این ذره‌های کوچک نیز به خاکدانه‌های بسیار کوچک‌تر که از لای و رس و هموس تشکیل شده است، تبدیل می‌شوند. نظام سلسله مراتب خاکدانه‌ای (شکل ۲۶-۴) به نظر می‌رسد که به‌استثنای اکسی‌سول‌ها و بعضی از آنتی‌سول‌های جوان خاصه اکثر خاک‌ها باشد. در هر سطح از این سلسله مراتب خاکدانه‌ها عوامل مختلفی مسؤول به هم چسبیدن واحدهای فرعی می‌باشند.

عوامل مؤثر در تشکیل و پایداری خاکدانه‌ها در خاک

هر دو فرایند زیستی و غیرزیستی (فیزیکی و شیمیایی) در تشکیل خاکدانه‌ها مؤثر می‌باشند. فرایندهای فیزیکی در انتهای ریز سلسله مراتب و فرایندهای زیستی در انتهای درشت سلسله مراتب مهمترین عوامل می‌باشند. همچنین فرایندهای فیزیکی-شیمیایی مؤثر در تشکیل خاکدانه‌ها عمدتاً در ارتباط با رس بوده و بنابراین در خاک‌های بافت ریز دارای اهمیت بیشتری می‌باشند. در خاک‌های شنی که دارای رس کمتری هستند، خاکدانه‌سازی به‌طور کلی وابسته به فرایندهای زیستی می‌باشد.

^۱- Hutson black clay

^۲- Hierarchical organization

* - نقش ماده آلی و فرایندهای زیستی در نظام سلسله مراتب خاکدانه‌های خاک ابتدا به‌وسیله‌ی تیدال واودز (۱۹۸۲) مطرح گردید.

فرایندهای فیزیکی - شیمیایی

مهمترین فرایندهای فیزیکی شیمیایی عبارتند از: (۱) جاذبه بین ذرات رس (۲) انقباض و انبساط رسها.

هماوری رس‌ها و نقش کاتیون‌های جذب‌شده: به‌استثنای خاک‌های خیلی شنی که تقریباً عاری از رس می‌باشند، خاکدانه‌سازی یا هماوری ذرات رس به‌صورت دسته‌های ذره‌بینی و یا فولکول‌ها آغاز می‌شود (شکل ۲۷-۴). هماوری می‌تواند به‌وسیله‌ی این واقعیت تشریح گردد که اکثر انواع ذرات رس دارای سطوح با بار منفی می‌باشند که به‌طور طبیعی دسته‌های کاتیون‌های دارای بار مثبت را از محلول خاک جذب می‌کنند (بخش ۸-۱ را مطالعه کنید). اگر دو صفحه‌ی کوچک رس به اندازه کافی به هم‌دیگر نزدیک شوند کاتیون‌های فشرده‌شده در بین آن‌ها بار منفی را در هر دو صفحه جذب و بنابراین همانند پلی دو صفحه را نگهداری می‌کنند. این فرایند تکرار شده تا این که مجموعه کوچکی از صفحات موازی رسی که حوزه رسی^۱ نام دارد تشکیل می‌شود. انواع دیگر حوزه‌های رسی از نظر طرز قرارگرفتن بسیار تصادفی بوده و مشابه حجره‌ای از کاترها می‌باشند. این اشکال، وقتی بارهای مثبت بر روی لبه‌ی صفحات کوچک، بارهای منفی موجود در سطوح را جذب می‌کنند تشکیل می‌گردند (شکل ۲۷-۴). فولکول‌ها، و یا حوزه‌های رسی همراه با کلویدهای آلی باردار (هموس) با هم‌دیگر و ذرات لای (عمدتاً کوآرتز) پلهایی تشکیل می‌دهند که ریزترین گروه‌ها را در نظام سلسله مراتب خاکدانه‌ای ایجاد می‌کنند (شکل ۲۶-۴ و). این حوزه رسی که به‌وسیله‌ی اثرات هماوری کاتیون‌های چندظرفیتی (Ca^{2+} , Fe^{2+} و Al^{3+}) و هموس حمایت می‌شوند سبب پایداری ریزخاکدانه‌ها^۲ (قطر کمتر از 0.003 میلی‌متر) می‌گردند. عمل سیمانی کردن ترکیبات غیرآلی مانند اکسیدهای آهن سبب ایجاد خاکدانه‌های بسیار پایدار کوچک که شبه شن^۳ نامیده می‌شوند در خاک‌های رسی خاص (اولتی سول و اکسی سول) در مناطق گرم و مرطوب می‌گردد. وقتی کاتیون‌های Na^{+} (به‌جای کاتیون‌های چندظرفیتی) ین جذب شده غالب باشند، مانند بعضی از خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک، نیروهای جاذبه قادر نخواهند بود که بر نیروی دافعه‌ی طبیعی دو ذره دارای بار منفی مجاور غلبه کنند و صفحات رس نمی‌توانند به‌اندازه کافی برای هماوری به هم‌دیگر نزدیک شوند. بنابراین، تا آنجا که مقدور است به‌صورت پراکنده، از هم باقی می‌مانند. رس در این شرایط پراکنده، ژله‌مانند سبب می‌شود که خاک تقریباً بدون ساختمان، غیرقابل نفوذ به آب و هوا و از نظر رشد نبات بسیار نامطلوب باشد (بخش ۱۰-۱۰ را مطالعه کنید).

تغییرات حجم در مواد رسی: وقتی یک خاک خشک می‌شود و آب بیرون می‌رود صفحات کوچک در حوزه رسی به یک‌دیگر نزدیک‌تر گشته و سبب می‌شوند که حوزه رسی و توده‌ی خاک از نظر حجم انقباض یابند، وقتی توده‌ی خاک منقبض شود، ترک‌ها در امتداد صفحات سست ایجاد خواهند شد. در طول چرخه‌های فراوان (در فاصله بارندگی‌ها و یا آبیاری‌ها) ترک‌ها در طول همان صفحات سست بارها تشکیل می‌شوند. شبکه‌ی ترک‌ها بسیار گسترش یافته و خاکدانه‌ها بین ترک‌ها بهتر مشخص می‌شوند. ریشه‌ی گیاهان دارای اثر خشک‌کنندگی آشکاری در هنگام جذب آب در اطراف خود می‌باشند. جذب آب به‌ویژه به‌وسیله‌ی گیاهان چمنی با ریشه‌های افشان فرایند خاکدانه‌سازی فیزیکی را که در ارتباط با خشک و مرطوب شدن است، تشدید می‌کنند. این تأثیر یکی از راه‌های بسیار متعددی است که فرایندهای فیزیکی و زیستی در تعامل با هم‌دیگر قرار می‌گیرند.

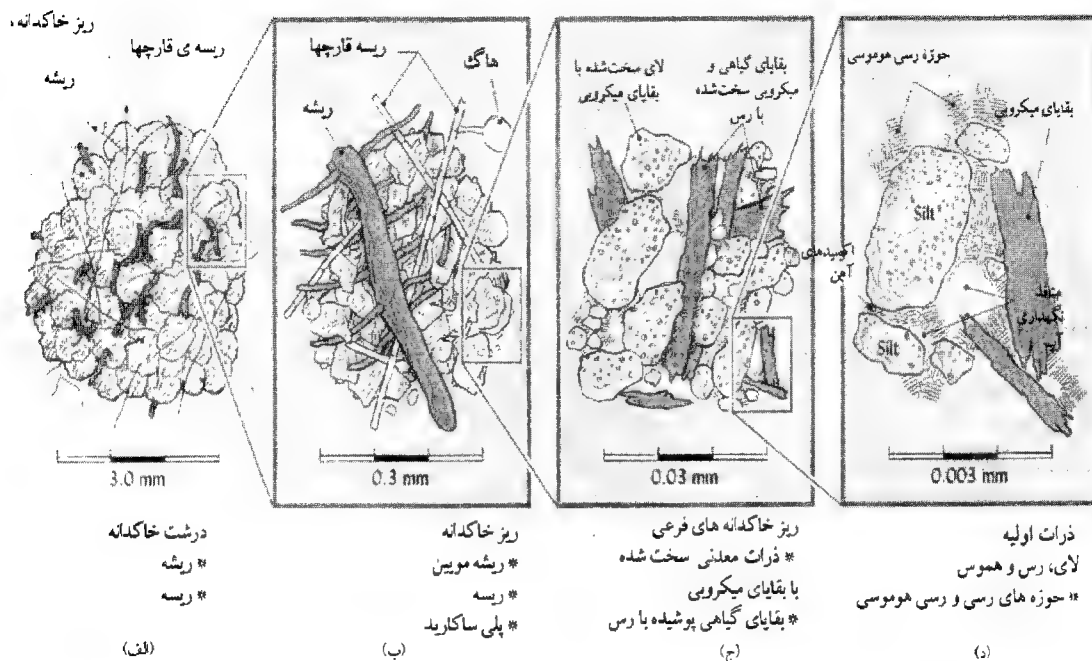
چرخه‌های یخ‌زدن و ذوب یخ دارای اثرات مشابهی می‌باشند زیرا تشکیل بلورهای یخ یک فرایند خشک‌کردن است که آب را حتی از حوزه‌های رسی خارج می‌سازد. عمل انقباض و انقباض، که با یخ‌زدن و ذوب یخ، خشک و مرطوب شدن همراه است سبب ایجاد رخنه‌ها و تنش‌هایی می‌شود که نهایتاً سبب شکسته شدن و جدایی توده‌های بزرگ خاک شده، و یا سبب تراکم خاک در داخل واحدهای ساختمانی مشخص می‌گردد. اثرات خاکدانه‌سازی چرخه‌های آب و دما در خاک‌هایی که دارای مقادیر کافی رس متورم شونده می‌باشند (فصل ۸) به‌خصوص در خاک‌های ورتی سول، مولی سول و بعضی الفی سول‌ها بسیار چشمگیر است.

زارعین از دیر زمان دریافته‌اند که کلوخه‌های بزرگ سخت اگر در طول زمستان تحت شرایطی قرار گیرند که به‌طور متناوب در معرض یخ‌زدن و ذوب و یا مرطوب شدن و خشک شدن (در باران‌های آرام) قرار گیرند، به خاک نرم بستر بذری تبدیل خواهند شد. برای خاک‌های رسی، زمستان‌های سرد مناطق معتدل و فصول گرم طولانی مناطق خاص گرم‌تر، می‌توانند اثرات نامناسب تراکم و مدیریت نامناسب را بر طرف سازند (بخش ۸-۴ را مشاهده کنید).

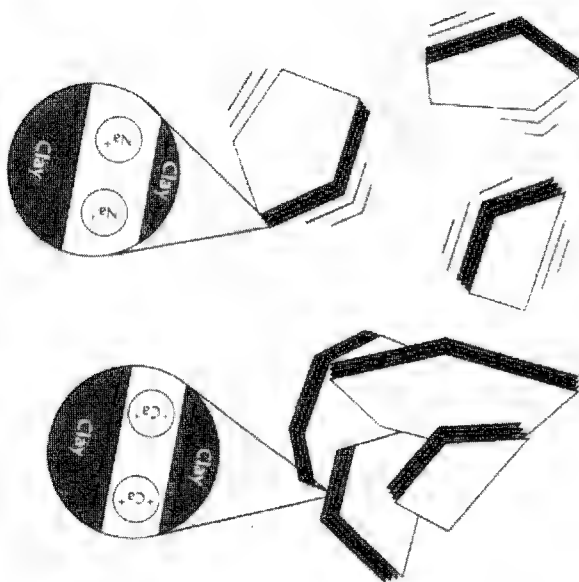
^۱ - Clay domain

^۲ - Microaggregate

^۳ - Pseudosand



شکل ۲۶-۴ خاکدانه‌های درشت معمولاً از تجمع خاکدانه‌های کوچک‌تر تشکیل یافته‌اند. این شکل ۴ سطح از این سلسله مراتب را در خاکدانه‌ها نشان می‌دهد. عوامل مهم مختلف خاکدانه‌سازی در هر سطح مشخص شده است. (الف) یک درشت خاکدانه از بسیاری ریزخاکدانه تشکیل شده است که عمدتاً به وسیله شبکه‌ای ناشی از ریشه قارچها و وریشه‌های ریز به هم دیگر پیوند یافته‌اند (ب) یک ریزخاکدانه که عمدتاً از ذرات شن ریز و دسته‌های کوچک‌تری از ذرات لای، رس و بقایای ریز آلی تشکیل شده است به وسیله ریشه‌های موی، ریشه قارچ و لعاب میکروبی به هم دیگر پیوند یافته‌اند. (ج) یک ریزخاکدانه بسیار کوچک که از ذرات ریز لای به وسیله بقایای آلی و قطعات کوچک گیاهان و میکروبها (که ماده‌ی آلی ذره‌ای^۱ نامیده می‌شود) و همچنین ذرات کوچک‌تر رس هموس و اکسیدهای آهن و آلومینیوم سخت شده است. (د) دسته‌هایی از صفحات کوچک موازی و تصادفی رس که در تعامل با اکسیدهای Fe و Al و پلی‌مرهای آلی در کوچک‌ترین اندازه می‌باشند. این دسته‌های رس آلی^۲ و یا حوزه‌های رسی به سطح ذرات هموس و کوچک‌ترین ذرات کانی چسبیده‌اند.



شکل ۲۷-۴ نقش کاتیون‌ها در هم‌آوری ذرات رس، کاتیون‌های دو ظرفیتی و سه ظرفیتی مانند کلسیم و آلومینیوم به شدت جذب شده و می‌توانند به‌طور مؤثری بار منفی سطح رس را خنثی کنند. این کاتیون‌ها همچنین می‌توانند پل‌هایی برای نزدیک کردن ذرات رس بین آن‌ها ایجاد کنند. کاتیون‌های یک ظرفیتی به‌خصوص Na^+ با شمع آب‌گیری خیلی بزرگ، می‌توانند سبب گردند که ذرات رس یکدیگر را دفع کرده و پراکنده شوند. دو مسأله در پراکنده‌ی مؤثر است. (۱) سدیم با شمع آب‌گیری به‌اندازه کافی بزرگ برای خنثی شدن به رس نزدیک نمی‌شود و (۲) بار کمی بر روی سدیم در تشکیل یک پل بین ذرات رسی مؤثر نیست.

¹ - Particulated organic matter

² - Organoclay

فرایندهای زیستی

فعالیت جانداران خاک : در میان فرایندهای زیستی خاکدانه‌سازی، چشم‌گیرترین آن‌ها عبارتند از: (۱) فعالیت‌های حفاری و چسباندن ذرات به‌وسیله کرم خاکی (۲) در برگرفتن ذرات به‌وسیله شبکه چسبنده ریشه نباتات و ریشه قارچ‌ها (۳) تولید چسب‌هایی آلی به‌وسیله ریزجانداران، به‌خصوص باکتری‌ها و قارچ‌ها در خاک‌های تحت کشت و کار و غیر آن. کرم‌های خاکی (و موریانه‌ها) ذرات خاک را به اطراف حرکت داده، اغلب آن‌ها را بلعیده و به‌صورت گلوله‌ها یا قالب‌هایی (فصل ۱۱) در می‌آورند در برخی خاک‌های جنگلی افق سطحی شامل خاکدانه‌های اولیه‌ای ایجاد شده به‌وسیله لعاب مترشحه‌ی کرم‌های خاکی (شکل ۱۱-۴ الف را مشاهده کنید) می‌باشد. گیاهان، با فشار دادن ریشه‌ی خود در داخل منافذ خاک، ذرات آن را جابه‌جا می‌کنند. این جابه‌جایی سبب ایجاد فشاری برای تماس نزدیک ذرات خاک با هم دیگر تقویت خاکدانه‌ای شدن می‌گردد. هم‌زمان راه‌های ایجاد شده به‌وسیله ریشه گیاهان و حیوانات خاک‌زی به‌صورت منافذ درشت عمل می‌کنند که سبب شکسته‌شدن کلوخه‌های درشت و مشخص شدن واحدهای ساختمانی درشت‌تر می‌شود.

ریشه گیاهان (به‌خصوص ریشه‌های موین) و ریشه قارچ‌ها پلی‌ساکاریدهای شکر مانند و سایر ترکیبات آلی ترشح می‌کنند که یک شبکه چسبنده را برای به‌هم‌پیوستن ذرات جداگانه‌ی خاک، و تبدیل ریزخاکدانه‌های ضعیف به خاکدانه‌های درشت‌تر فراهم می‌کنند (شکل ۲۶-۴ الف را مشاهده کنید). قارچ‌های نخ‌ی شکل، که همراه ریشه گیاهان می‌باشند (قارچ ریشه^۱ نامیده می‌شوند بخش ۹-۱۱) در این نوع تثبیت کوتاه مدت خاکدانه‌های درشت مؤثر می‌باشند، زیرا آن‌ها یک پروتیین چسبناک که گلومالین^۲ نامیده می‌شود ایجاد می‌کنند که یک عامل سیمانی بسیار مؤثر می‌باشد.

باکتری‌ها همچنین در تجزیه‌ی پسماندهای گیاهی، پلی‌ساکارید و سایر چسب‌های آلی تولید می‌کنند. پلی‌ساکارید باکتری‌هایی که با رس مخلوط شده است در مقیاس بسیار کوچک در شکل ۲۹-۴ نشان داده شده است. بسیاری از این چسب‌های آلی حاصل از ریشه‌ی نبات و فعالیت میکروب‌ها در مقابل انحلال در آب مقاوم بوده و نه تنها سبب ایجاد خاکدانه می‌شود بلکه پایداری آن‌ها را برای ماه‌ها و حتی چندین سال تضمین می‌کند. این فرایندها در خاک‌های سطحی که فعالیت حیوانات و تراکم ماده‌ی آلی در بیشترین مقدار است چشم‌گیر می‌باشند. تأثیر ماده‌ی آلی : در اکثر خاک‌ها، ماده‌ی آلی مهمترین عامل مؤثر در تشکیل و پایداری خاکدانه‌های گرددانه و اسفنجی می‌باشد (شکل ۳۰-۴). اول این‌که، ماده‌ی آلی سبب ارایه مواد انرژی‌زا می‌شود که فعالیت‌های قارچ‌ها، باکتری‌ها و جانوران خاک را امکان‌پذیر می‌سازد. دوم، وقتی بقایای آلی تجزیه می‌شوند مواد ژلاتینی و لزج میکروبی همراه با باکتری‌ها و قارچ‌ها سبب تقویت ایجاد ساختمان اسفنجی می‌گردند. مواد آلی ترشح یافته از ریشه نباتات نیز در این فرایند خاکدانه‌سازی شرکت می‌کنند.

محصولات آلی حاصل از تجزیه مانند پلی‌مرهای مرکب به‌طور شیمیایی با ذرات رس‌های سیلیکاتی و اکسیدهای آهن و آلومینیوم واکنش می‌کنند. این ترکیبات سبب آرایش رس‌ها در گروه‌هایی (حوزه رسی) می‌شود که سبب ایجاد پل در بین ذرات جداگانه خاک می‌گردد و بنابراین، سبب به هم پیوستن آن‌ها و ایجاد خاکدانه‌های مقاوم به آب می‌شوند (شکل ۲۶-۴ د).

در طول فرایند خاکدانه‌سازی، ذرات معدنی خاک (لای و شن ریز) به‌وسیله قطعاتی از پسماندهای گیاهی پوشیده و سایر مواد آلی پوشش یافته و سخت می‌شوند. حتی در مقیاس کوچک‌تر ذرات ذره‌بینی بقایای تجزیه شده ذرات هموس به‌وسیله ذرات رسی پوشیده می‌شوند. شکل ۲۹-۴ شواهد مستقیم حوزه‌های معدنی - آلی، که ذرات خاک را به هم اتصال داده نشان می‌دهند.

تأثیر عملیات خاک‌ورزی : پیشرفت‌های نوینی در علف‌کش و ادوات کشت و کار امکان مبارزه با علف‌های هرز و استقرار بذرها بدون انجام عملیات خاک‌ورزی فراهم کرده است. هرچند بعضی از مدیران خاک هنوز عملیات خاک‌ورزی را برای استفاده‌ی خاک‌ها در کشاورزی عادی و لازم می‌دانند. خاک‌ورزی می‌تواند هم اثرات مطلوب و هم اثرات نامطلوب بر روی خاکدانه‌سازی داشته باشد. اگر هنگام انجام عملیات خاک‌ورزی خاک خیلی خشک و خیلی مرطوب نباشد، اثرات خاک‌ورزی معمولاً مطلوب است. ادوات خاک‌ورزی سبب خرد شدن کلوخه‌ی درشت، مخلوط کردن مواد آلی، کشتن علف‌های هرز و ایجاد بستر مناسب می‌گردند (تابلو ۵-۴ را مشاهده کنید). بلافاصله پس از شخم زدن، خاک سطحی سست می‌شود (نیروی چسبندگی آن کاهش می‌یابد) و تخلخل کل افزایش می‌یابد.

در طولانی‌مدت، عملیات خاک‌ورزی دارای اثرات زیانباری بر ساختمان خاک سطحی می‌شود. اول این‌که، مخلوط کردن و به هم زدن خاک در خاک‌ورزی سبب تسریع اکسایش ماده‌ی آلی و کاهش اثرات خاکدانه‌سازی این عامل می‌شود. دوم، پی‌آمد عملیات خاک‌ورزی در

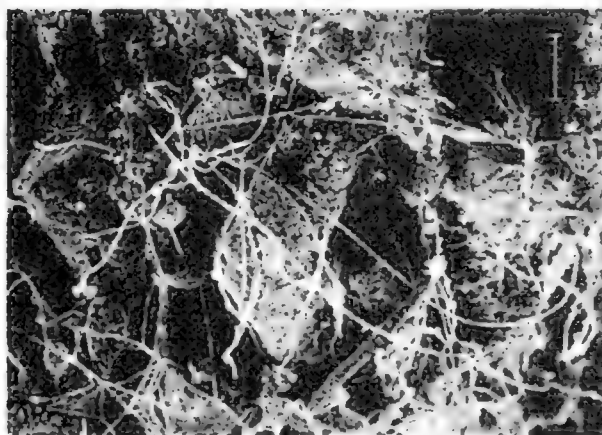
^۱ - Micorrhizae

^۲ - Glomalin

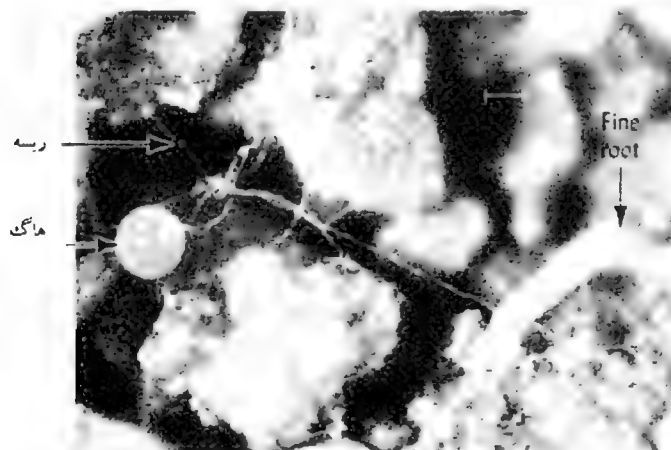
خاک مرطوب خرد و یا خراب شدن خاکدانه‌های پایدار، و از بین رفتن تخلخل درشت و ایجاد شرایط گلخوابی^۱ می‌گردد. این عمل همچنین سبب آشکار شدن مواد آلی نگهداری شده در داخل خاکدانه‌ها گردیده و تجزیه آنرا تسریع می‌کند. تفاوت بسیار زیاد بین خاک سطحی شخم خورده و شخم نخورده (چمن‌زار) در شکل ۳۱-۴ نشان داده شده است.



(الف)



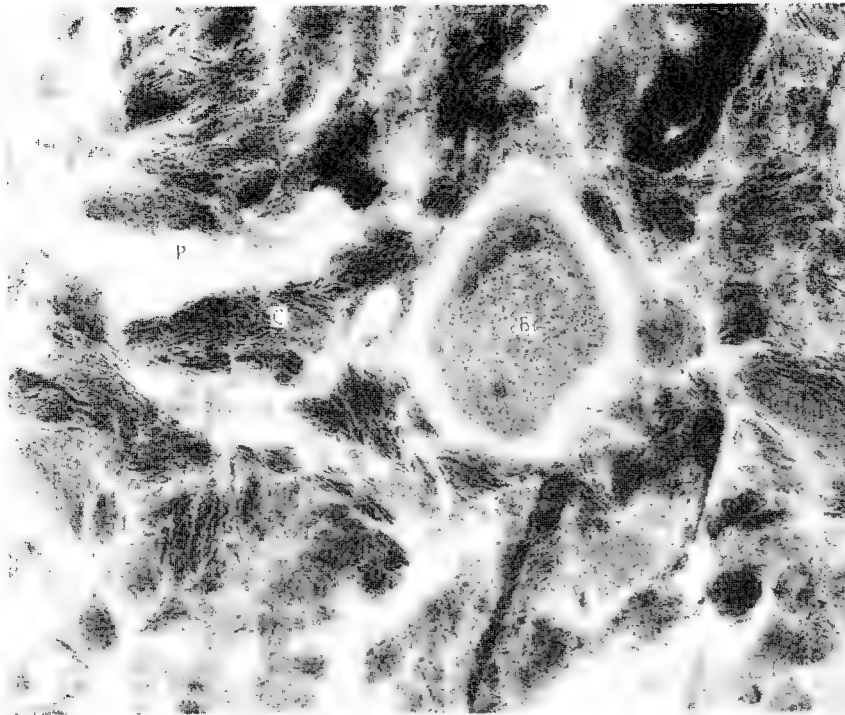
(ب)



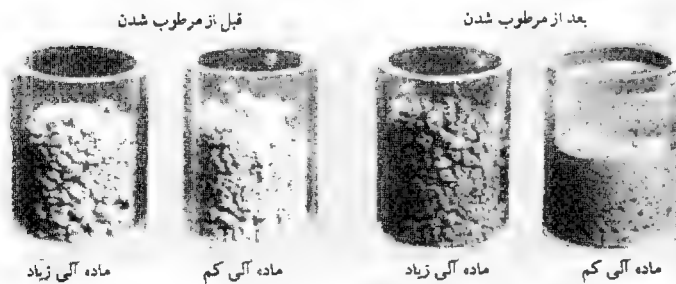
(ج)

شکل ۲۸-۴ ریشه‌ی قارچ‌ها خاکدانه‌ها را به هم دیگر پیوند می‌دهد. (الف) نمای نزدیک یک ریشه که بر روی سطح یک ذره‌ی معدنی که به وسیله‌ی سلول‌های میکروبی و بقایای آن‌ها پوشیده شده است. اندازه‌ی میله ۱۰ میکرومتر است. (ب) یک مرحله‌ی پیشرفته از خاکدانه‌ای شدن طی تشکیل خاک از شن تپه‌ها. به تور ریشه قارچ‌ها و سخت کردن ذرات معدنی با بقایای آلی توجه کنید. اندازه میله ۵۰ میکرومتر است. (ج) ریشه‌ی قارچ‌ها همراه با ریشه گیاهان از جنس گیگاسپر^۲ که ذرات لوم شنی را به هم دیگر متصل می‌کنند. به اسپر قارچ‌ها و ریشه گیاه توجه کنید. اندازه‌ی میله ۳۲۰ میکرومتر است.

^۱ - Puddle
^۲ - Gigaspore



شکل ۲۹-۴ ریز مقطع فوق‌العاده^۱ نازک که تعامل بین مواد آلی و رس‌های سیلیکاتی را در یک خاکدانه‌ی مقاوم به آب تشریح می‌کند. مواد سیاه رنگ (C) گروه‌های ذرات رسی است که با پلی‌ساکاریدهای آلی در تعامل می‌باشند (P). یک سلول باکتریایی (B) به‌وسیله‌ی پلی‌ساکاریدهای احاطه شده است. به جهت گیری افقی ذرات رسی، که به‌وسیله‌ی مواد آلی ایجاد شده است، توجه کنید.



شکل ۳۰-۴ خاکدانه‌های غنی از ماده‌ی آلی. بسیار پایدارتر از خاکدانه‌های دیگر فاقد ماده‌ی آلی می‌باشند. خاکدانه‌های با ماده‌ی آلی کم وقتی مرطوب هستند و می‌روند در صورتی که آن‌هایی که دارای ماده‌ی آلی زیاد می‌باشند پایدار هستند.



شکل ۳۱-۴ خاک گُلخَراب (سمت چپ) و خاک دارای خاکدانه‌های مناسب (سمت راست). ریشه‌ی گیاهان و به‌خصوص هموس نقش مهمی در خاکدانه‌سازی دارند. بنابراین چمن سبب تقویت ساختمان خاکدانه‌ها در سطح خاک‌های تحت کشت و کار می‌باشد.

^۱ Ultrathin section

۸-۴ عملیات خاک‌ورزی و مدیریت ساختمان خاک

اکثر خاک‌های تحت پوشش تراکم، در صورتی که بر اثر عملیات خاک‌ورزی مورد تعرض قرار نگرفته باشند (به‌استثنای خاک‌ها با پوشش پراکنده در مناطق خشک)، دارای یک ساختمان سطحی چنان پایداری هستند که امکان نفوذ سریع آب را فراهم کرده و از سله‌بندی جلوگیری می‌کنند. برای مدیر خاک‌های زراعی توسعه و نگهداری ساختمان پایدار سطحی در خاک یک چالش عمده می‌باشد. بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که خاکدانه‌ای شدن و خصوصیات مطلوب همراه آن مانند میزان نفوذ آب با کشت گیاهان ردیفی در طولانی مدت کاهش می‌یابد (جدول ۸-۴).

عملیات خاک‌ورزی و شخم‌آبی خاک^۱

شخم‌آبی به‌طور ساده، به شرایط فیزیکی خاک در ارتباط با رشد گیاه تعریف شده است. شخم‌آبی نه تنها وابسته به تشکیل خاکدانه‌ها و پایداری خاک است، بلکه در ارتباط با عواملی چون چگالی ظاهری، میزان رطوبت خاک، میزان تهویه، میزان نفوذ، زه‌کشی و ظرفیت موینی خاک می‌باشد. همان‌طور که باید انتظار داشت شخم‌آبی اغلب به‌سرعت و به میزان قابل‌توجهی تغییر می‌یابد. برای نمونه خصوصیات کارکردن با خاک‌های بافت ریز ممکن است به‌طور شدیدی با تغییر کوچکی در رطوبت تغییر یابد. خاک‌های رسی به‌خصوص به گل‌خوابی و تراکم به دلیل شکل‌پذیری و چسبندگی زیاد آن‌ها حساس می‌باشند. پی‌آمد خشکی خاک‌های گل‌خواب رسی تراکم و سخت شدن آن‌هاست. زمان مناسب تردد در خاک‌های رسی بسیار مشکل‌تر از خاک‌های شنی می‌باشد، زیرا خشک شدن خاک رسی برای رسیدن به یک رطوبت مناسب بسیار طولانی است به‌علاوه ممکن است چنان خشک گردد که کارکردن در آن آسان نباشد.

مدیریت بعضی از خاک‌های رسی مناطق مرطوب گرمسیری بسیار آسان‌تر از خاک‌هایی است که در سطور قبل بیان شدند. در بخش رس این خاک‌ها، اکسیدهای آبدار آهن و آلومینیوم غالب می‌باشند که چندان چسبنده و شکل‌پذیر نبوده و دارای مشکل کارکردن نمی‌باشند. این خاک‌ها ممکن است دارای خصوصیات فیزیکی بسیار مطلوب باشند، زیرا مقادیر زیادی آب را نگهداری کرده اما خاکدانه‌های آن‌ها چنان پایدار است که عکس‌العمل آن‌ها بعد از باران به عملیات خاک‌ورزی بسیار شبیه خاک‌های شنی است. در مناطق حاره‌ای و شبه‌حاره‌ای با فصل خشک طولانی، خاک اغلب باید در حالت بسیار خشک، به‌منظور آماده کردن اراضی برای کشت در شروع بارندگی‌ها، مورد شخم و شیار قرار گیرد. خاک‌ورزی در چنین شرایط خشکی می‌تواند بسیار مشکل و در صورت وجود رس‌های بسیار چسبناک منجر به ایجاد کلوخه‌های سخت گردد. بنابراین، درحالی که زارعین در مناطق معتدل با زمین‌های بسیار مرطوب برای انجام عملیات خاک‌ورزی درست قبل از زمان کشت (اول بهار) مواجه می‌باشند. زارعین در مناطق حاره‌ای ممکن است با مسأله عکس یعنی با خاک‌های بسیار خشک برای انجام خاک‌ورزی آسان قبل از کشت (آخر فصل خشک) مواجه گردند.

خاک‌ورزی مرسوم و تولید محصولات زراعی

از قرون وسطی به این طرف گاواهن برگردان‌دار معمول‌ترین عملیات خاک‌ورزی اولیه مورد استفاده در جهان غرب بوده است.^۲ هدف این شخم بلندکردن، چرخاندن و برگرداندن خاک ضمن مخلوط کردن پس‌مانده‌های گیاهی و فضولات حیوانی در لایه شخم می‌باشد (شکل ۳۲-۴). گاواهن برگردان‌دار معمولاً با گاواهن بشقابی همراه است که برای بریدن بقایا و مخلوط کردن نسبی آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در عملیات معمول این ادوات خاک‌ورزی اولیه به‌وسیله‌ی تعدادی عملیات خاک‌ورزی ثانویه، مانند دندانه‌زدن برای از بین بردن علف‌های هرز و شکستن کلوخه‌ها، و تهیه بستر مناسب دنبال می‌شوند.

^۱ - Tilth

^۲ - برای یک نقد قدیمی اما باارزش درمورد گاواهن برگردان‌دار به مقاله‌ی (۱۹۴۳) Faulkner مراجعه کنید.

تابلو ۵-۴ تهیه کردن یک بستر بذر مناسب

در آغاز فصل کشت، یکی از فعالیت‌های زارع و یا باغدار تهیه کردن بستر بذر مناسب می‌باشد که تضمین کند عملیات به طور یکنواخت صورت گرفته و گیاهان با سرعت زیاد، به‌طور یکنواخت و فاصله‌ی کافی سبز خواهند شد.

یک بستر بذر مناسب باید از خاکی کاملاً نرم تشکیل شده باشد تا امکان طولیل شدن ریشه و ظهور گیاهچه را فراهم آورد (شکل الف). از طرف دیگر بستر بذر باید به اندازه‌ی کافی فشرده باشد تا امکان تماس بین بذر و خاک مرطوب را برای آماس کردن بذر و جوانه زدن آن تضمین کند. بستر بذر باید از کلوخه‌های درشت تقریباً عاری باشد، زیرا بذر در بین این کلوخه‌ها از نظر سبز شدن در عمق زیادی قرار گرفته و تماس کافی با خاک مرطوب نخواهد داشت.

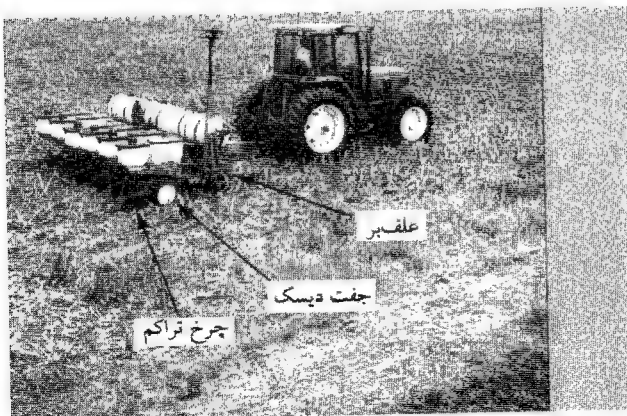
عملیات خاک‌ورزی ممکن است برای سست کردن خاک متراکم مورد نیاز باشد و در اقلیم سرد کمک می‌کند که خاک خشک شده با سرعت بیشتر گرم شود. از طرف دیگر، اهداف تهیه بستر بذر ممکن است با انجام عملیات خاک‌ورزی کم و یا انجام فعالیت بدون خاک‌ورزی در صورت مساعد بودن شرایط اقلیمی و یا استفاده از خاک‌پوش و علف‌کش برای مبارزه با علف‌های هرز زودهنگام تحقق یابد.

بذرکارهای مکانیکی می‌توانند در حفظ بستر مناسب بذر مؤثر باشند. بسیاری از بذرکارها با علف‌بر (صفحات تیز فولادی) مجهز بوده که بتوانند راهی را در داخل بقایای گیاهان در سطح خاک باز کرده به‌طوری‌که این بقایا در ضمن حرکت بذرکار جمع نشده و بذرکار را مسدود نکنند. بذرکار بدون خاک‌ورزی معمولاً با دو جفت چرخ تیز برنده که به آن‌ها جفت بشقاب بازکننده می‌گویند علف‌بر را دنبال کرده و شکافی در داخل خاک ایجاد می‌کنند که بذور در داخل آن فرو می‌ریزند (شکل‌های ب و ج را مشاهده کنید). اکثر بذرکارها دارای یک چرخ فشاری بوده که در پشت سر لوله‌ی سقوط بذرکار قرار داشته و خاک سست ایجاد شده را چنان تحت فشار قرار می‌دهد که از پسته شدن شیار باز شده و از تماس بذر با خاک مرطوب اطمینان حاصل گردد.

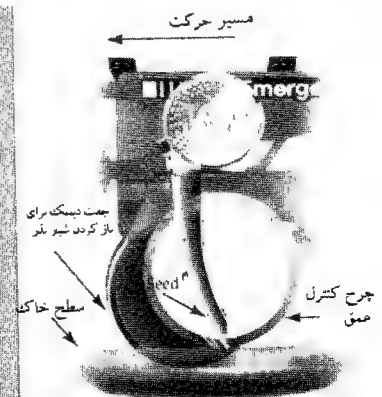


(الف) یک گیاهچه‌ی لوبیا از بستر بذر خارج می‌شود

مطلوب این است که یک نوار نازک در ردیف بذر برای ایجاد منطقه جوانه‌زدن تحت تراکم قرار گیرد درحالی‌که خاک بین ردیف‌های کشت تا آن‌جاکه مقدور است برای ایجاد منطقه توسعه‌ی ریشه سست باقی بماند سطح منطقه بین ردیف‌های کشت باید به‌صورت ناهموار برای نفوذ هرچه بیشتر آب و جلوگیری از فرسایش باقی بماند. اصول فوق برای باغداران که ممکن است با دست بذرکاری را انجام دهند صادق می‌باشد



(ب) یک بذرکار بدون خاک‌ورزی در حال کار.



(ج) تصویری که نشان می‌دهد چگونه کار می‌کند.

جدول ۸-۴ تأثیر طول زمان کشت و کار ذرت در میزان ماده‌ی آلی خاک، پایداری خاکدانه‌ها و نفوذپذیری آب در خاک لوم سیلتی انبساطی سول در جنوب فرانسه

در خاک‌هایی که از ماده‌ی آلی تخلیه شده‌بودند، خاکدانه‌ها تحت تأثیر آب به آسانی خرد شده و خاکدانه‌های کوچک‌تر و مواد معلق ایجاد کرده که سبب آلوده کردن سطح خاک و ممانعت از نفوذپذیری شدند. به نظر می‌رسد ۳ درصد ماده‌ی آلی برای پایداری ساختمانی در این مناطق معتدل دارای خاک‌های لوم سیلتی کفایت کند.

طول مدت کشت و کار سال	درصد ماده‌ی آلی	پایداری خاکدانه‌ها MWD (mm) **	نفوذپذیری *	
			% از کل باران	قبل از ماندابی شدن (mm)
۱۰۰	۰/۷	۰/۳۵	۲۵	۶
۴۷	۱/۶	۰/۶۱	۳۴	۹
۳۲	۲/۶	۰/۷۶	۳۸	۱۵
۲۷	۳/۱	۱/۳۸	۴۷	۲۵
۱۵	۴/۲	۱/۵۲	۴۴	۲۳

* نفوذپذیری مقدار آب وارد شده به خاک بعد از اعمال ۶۴ میلی‌متر باران در طی دو ساعت.

** میانگین وزنی قطر خاکدانه‌هایی که بعد از الک کردن در آب دست نخورده باقی می‌مانند.

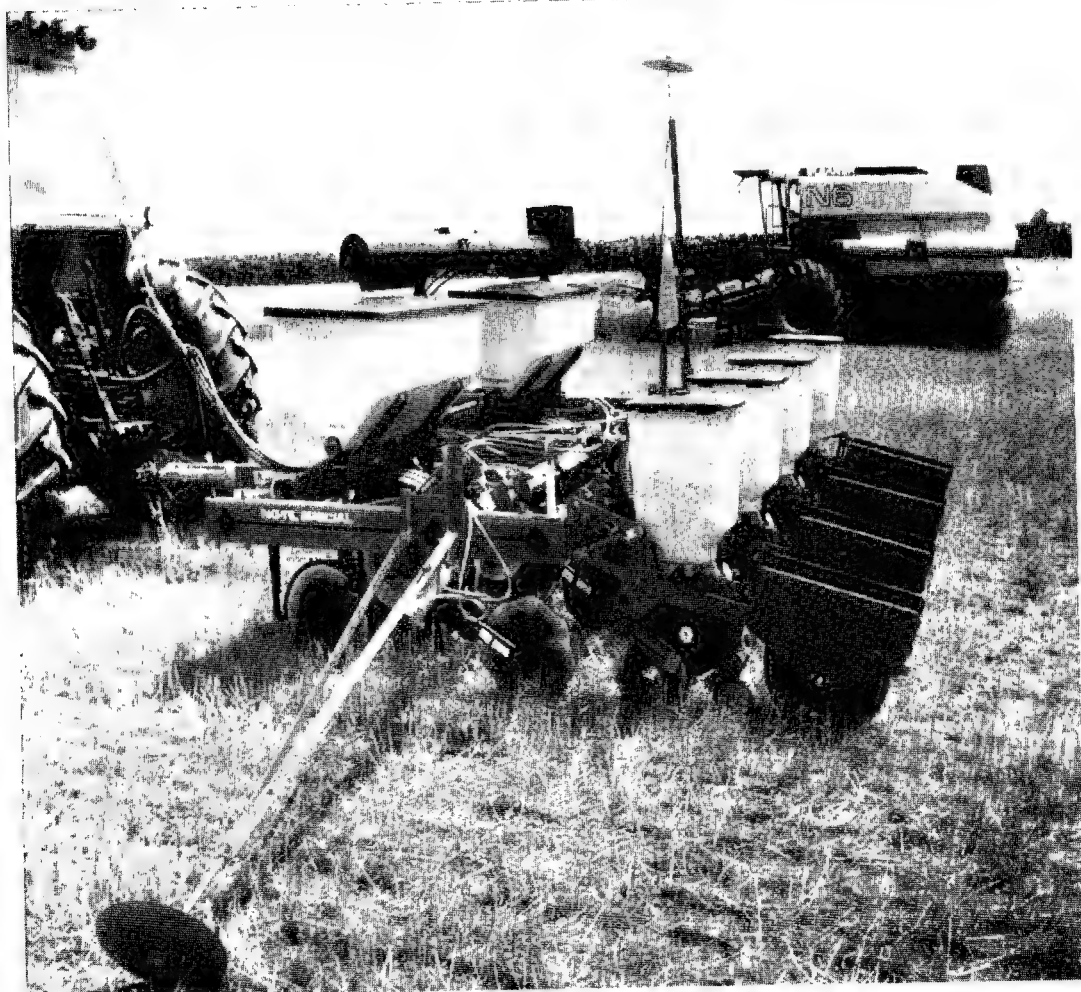
بعد از کاشت نبات در خاک، ممکن است عملیات خاک‌ورزی ثانویه بیشتری برای مبارزه با علف‌های هرز و خرد کردن سله در سطح خاک انجام گیرد. در کشاورزی مکانیزه، تمام عملیات خاک‌ورزی معمولاً به وسیله‌ی تراکتور و یا دیگر ادوات سنگین که ممکن است در روی خاک قبل از برداشت محصول بارها تردد می‌کنند، انجام می‌گیرد. در بسیاری از مناطق جهان، زارعین از کج بیل‌های دستی و یا ادوات دنباله بند حیوانات برای به هم زدن خاک استفاده می‌کنند. اگرچه وزن انسان‌ها و حیوانات باربر به اندازه‌ی تراکتورهای سنگین نمی‌باشد اما وزن آن‌ها در سطح مقطع نسبتاً کمی (جای پا و یا اثر سم) اعمال می‌شود و بنابراین می‌توانند تراکم قابل‌ملاحظه‌ای را ایجاد کنند.



شکل ۳۲-۴ درحالی که کار گاوآهن برگردان‌دار بلند کردن، برگرداندن و سست کردن خاک در عمق ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متری خاک فوقانی می‌باشد (لایه شخم). نیروی معادل رو به پایین سبب متراکم شدن لایه پایین خاک می‌شود. این منطقه متراکم شده می‌تواند به یک سخت لایه شخم تبدیل شود. این عمل تراکم را می‌توان با تصور بلند کردن یک بار سنگین و فشار آوردن پا در حین بلند کردن بر کف (سطح زمینی) درک کرد.

خاک‌ورزی حفاظتی و شخم‌آبی خاک

در سال‌های اخیر، نظام‌های مختلف مدیریت اراضی برای به حداقل رساندن نیاز خاک‌ورزی ابداع شده است. از آن‌جاکه این نظام‌ها مقدار قابل ملاحظه‌ای پس‌مانده‌های گیاهی بر روی خاک و یا نزدیک سطح خاک باقی می‌گذارند، خاک را در برابر فرسایش محافظت می‌کنند (بخش ۶-۱۷ را برای مطالعه بیشتر مشاهده کنید). به این دلیل، عملیات خاک‌ورزی در این نظام‌ها، خاک‌ورزی حفاظتی^۱ نامیده می‌شود. شکل ۳۳-۴ یک نوع نظام بدون خاک‌ورزی را نشان می‌دهد که یک گیاه زراعی در پس‌ماند زراعت دیگری بدون آن‌که عملیات خاک‌ورزی انجام گیرد، کاشته می‌شود. سایر نظام‌های حداقل خاک‌ورزی امکان به هم زدن خاک را تا حدی فراهم می‌کنند اما بخش زیادی از پس‌مانده‌های گیاهی را بر روی سطح زمین باقی می‌گذارند. این پس‌مانده‌های آلی خاک را از برخورد ضربات قطرات باران و عمل سایشی باد محافظت می‌کنند، و بنابراین سبب کاهش فرسایش آبی و بادی و نگهداری ساختمان خاک می‌گردند.



شکل ۳۳-۴ تشریح یک نظام خاک‌ورزی حفاظتی. ضمن برداشت گندم (قسمت عقب عکس) لوبیا روغنی دوحال کشت‌شدن (جلو عکس) بدون انجام هر نوع عملیات خاک‌ورزی می‌باشد. این نظام بدون خاک‌ورزی امکان دوکشتی را فراهم کرده و سبب صرفه‌جویی در هزینه سوخت و زمان، و حفاظت خاک می‌شود.

^۱ Conservation tillage وزارت کشاورزی آمریکا نظامی که حداقل در ۳۰ درصد سطح، پس‌مانده‌های گیاهی را به جای می‌گذارد خاک‌ورزی حفاظتی می‌داند.

سلبه بستن خاک

قطرات باران در حین یک بارش سنگین و یا آبیاری بارانی به خاکدانه‌های سطحی برخورد و آن‌ها را خرد می‌کنند. در بعضی خاک‌ها حل شدن نمک‌ها در اثر آب سبب پراکنده شدن رس‌ها می‌شود. وقتی خاکدانه‌ها پراکنده شدند، ذرات کوچک و ذرات پراکنده رس به داخل منافذ خاک آب‌شویی و سبب بسته شدن آن‌ها می‌شوند و بلافاصله سطح خاک به وسیله یک لایه نازک از این مواد ریزبافت بدون ساختمان، که اندوده سطحی^۱ نامیده می‌شود، پوشش می‌یابد. اندوده سطحی از نفوذ آب ممانعت کرده و سبب هدررفت بیشتر خاک می‌شود.

با خشک شدن اندوده سطحی، یک سله^۲ سخت ایجاد می‌شود. در این شرایط اگر گیاهچه‌ای سر برآورد فقط از داخل ترک‌های سله امکان‌پذیر خواهد بود. یک خاک تشکیل‌دهنده سله در شکل ۳۴-۴ با یک خاک دارای خاکدانه‌های پایدار مقایسه شده است. تشکیل سله درست به دنبال کشت یک نبات ممکن است امکان دهد تعداد بذر اندکی جوانه بزنند به طوری که نبات باید احتمالاً مجدداً کشت گردد. در مناطق خشک و نیمه خشک تشکیل اندوده و سله می‌تواند پی‌آمدهای تأسف باری داشته باشد، زیرا هدررفت بالای رواناب، آب قابل استفاده اندکی را برای رشد نبات باقی خواهد گذاشت.

سلبه بستن می‌تواند با باقی گذاشتن مقداری پوشش گیاهی و یا پوشش سطحی در روی اراضی برای کاهش برخورد قطرات باران به حداقل برسد. وقتی سله تشکیل شود ممکن است لازم باشد برای نبات جدیداً کشت شده به شکستن سله با خاک‌ورزی سبک (مانند دندانه دوار)، ترجیحاً وقتی که خاک هنوز مرطوب است اقدام کرد. مدیریت پیشرفته‌ی ماده‌ی آلی خاک و استفاده از مواد خاص اصلاح‌کننده می‌تواند سبب بهبود خاک و جلوگیری از پراکندگی رس و تشکیل سله گردد (بخش ۱۰-۱۰ را مشاهده کنید).

مواد اصلاح‌کننده خاک

گچ: گچ یا سولفات کلسیم به طور وسیعی به صورت نسبتاً خالص در معادن و یا به صورت یکی از فرآورده‌های فرعی محصولات مختلف صنعتی یافت می‌شود. مشخص شده است که گچ در بهبود شرایط فیزیکی بسیاری از انواع خاک‌ها، از خاک‌های خیلی هوا دیده‌ی اسیدی تا خاک‌های نسبتاً شور دارای سدیم زیاد، در مناطق نیمه خشک مؤثر است (فصل ۱۰ را مشاهده کنید). محصولات خیلی محلول حاوی گچ الکترولیت کافی (کاتیون و آنیون) را برای ارتقاء هماوری و جلوگیری از پراکندگی خاکدانه‌ها ارائه می‌کنند و بنابراین از تشکیل سله‌ی سطحی ممانعت می‌کنند. آزمایش‌های صحرایی مشخص کرده‌اند خاک‌هایی که در آن‌ها گچ مصرف شده است امکان نفوذ بیشتری را به آب داده و کمتر از خاک‌هایی که در آن‌ها گچ مصرف نشده است در معرض فرسایش می‌باشند. گچ همچنین می‌تواند مقاومت لایه‌های زیر سطحی سخت را کاهش دهد، بنابراین امکان توسعه بیشتر ریشه و جذب بیشتر آب را از خاک تحت‌الارضی فراهم می‌کند.

پلی‌مرهای مصنوعی آلی

پلی‌مرهای مصنوعی آلی خاص می‌توانند ساختمان خاک را بسیار شبیه با پلی‌مرهای آلی طبیعی مانند پلی‌ساکاریدها پایدار کنند. درحالی که مصرف زیاد این پلی‌مرها از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر نیست، مشخص شده است که مصرف آن‌ها به طور مناسب حتی در مقادیر بسیار اندک از تشکیل سله ممانعت خواهد کرد. از آنجا که سلبه بستن یک پدیده‌ی سطحی است جلوگیری از آن نیازمند مصرف پلی‌مر کافی برای چند میلی‌متر خاک سطحی می‌باشد. ثابت شده است اضافه کردن پلی‌مر به آب آبیاری یک راه مطمئن و مؤثر برای مصرف مقادیر اندک مورد نیاز است. برای نمونه، پلی‌اکریل آمید (PAM) وقتی به مقدار کم در محدوده‌ی ۱ تا ۱۵ میلی‌گرم در لیتر آب آبیاری اضافه شود و یا در مقادیر اندک یک تا ۱۰ کیلو در هکتار پاشیده شود، در پایداری خاکدانه‌های سطحی مؤثر خواهد بود. شکل ۳۵-۴ نشان داده است که مصرف یک پلی‌اکریل آمید مصنوعی در آب آبیاری تأثیر چشم‌گیری در پایداری خاکدانه‌ها داشته است. در تعداد زیادی تحقیقات نشان داده شده است که بهترین نتیجه می‌تواند با ترکیب PAM با محصولات حاوی گچ به دست آید.

سایر مواد اصلاح‌کننده خاک

گونه‌های متعددی از جلبک‌ها که در نزدیکی سطح خاک زندگی کرده، و ترکیبات بسیار مؤثر پایدار کننده‌ی خاکدانه‌ها را تولید می‌کنند، شناخته شده‌اند. مصرف مقادیر اندک مواد تجاری حاوی این جلبک‌ها می‌تواند بهبود قابل توجهی در ساختمان خاک سطحی ایجاد کند. مقدار مواد اصلاحی مورد لزوم بسیار اندک می‌باشد، زیرا جلبک‌ها در صورت استقرار می‌توانند تکثیر یابند.

1 - Surface seal

2 - Crust

مواد مختلف هموسی به‌خاطر اثرات آن‌ها در بهبود خاک در صورت مخلوط‌شدن به‌مقدار کم با خاک (کمتر از ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار) مورد خرید و فروش می‌باشند. هرچند مطالعات دقیق انجام گرفته در بسیاری از دانشگاه‌ها قادر نبوده‌اند نشان دهند که این مواد در پایداری خاکدانه‌ها آن‌طور که ادعا شده است اثر قابل‌ملاحظه‌ای دارند.

راهنمایی‌های کلی برای مدیریت شخم‌آبی خاک

گرچه هر خاک مسایل و چالش‌های خاصی را مطرح می‌کند اصول زیر معمولاً در ارتباط با مدیریت شخم‌آبی خاک مطرح می‌باشند.

۱- حداقل نمودن خاک‌ورزی، به‌خصوص شخم با گاوآهن برگردان‌دار، دیسک دندانه‌ای و دیسک دوار هدررفت ماده‌ی آلی تثبیت‌کننده خاکدانه‌ها را کاهش می‌دهد.

۲- زمان‌بندی انجام فعالیت‌های حمل‌ونقل در خاک در مواقعی که خاک تا آنجا که مقدور است خشک باشد و محدودکردن انجام عملیات خاک‌ورزی به ایامی که شرایط بهینه‌ی رطوبت خاک تخریب ساختمان آن را به حداقل برساند.

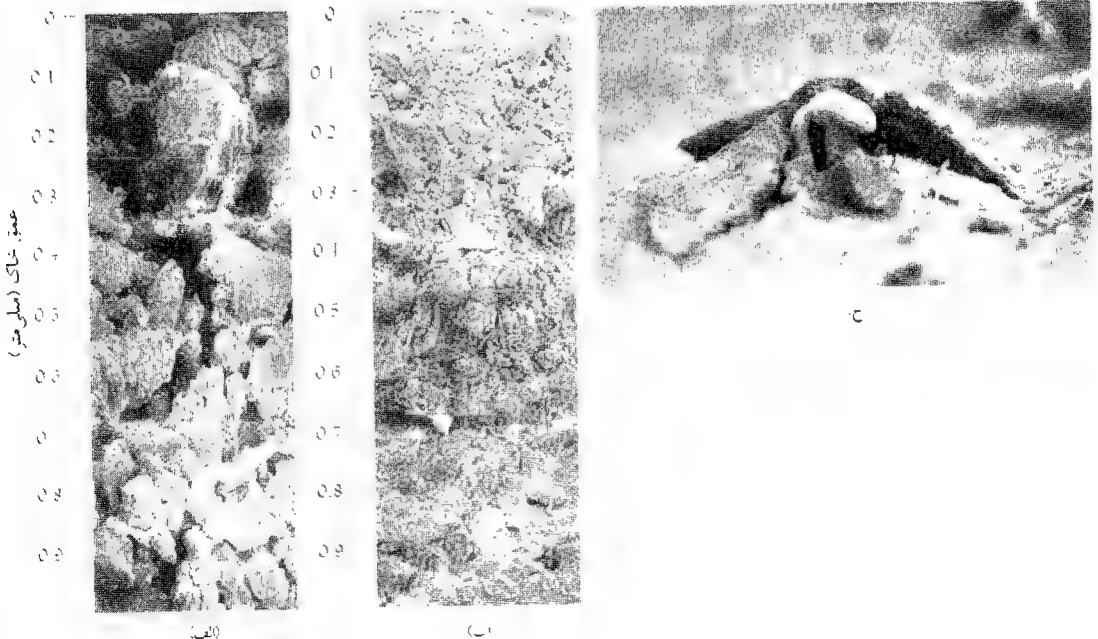
۳- پوشش دادن سطح خاک به‌وسیله‌ی بقایای محصول و لاشیرگ گیاهی سبب افزایش ماده‌ی آلی و تقویت فعالیت کرم‌های خاکی و محافظت خاکدانه‌ها از ضربات کوبنده قطرات باران خواهد شد.

۴- اضافه کردن پس‌مانده‌های گیاهی، کمپوست و کود دامی به خاک سبب تشدید عرضه‌ی محصولات حاصل از تجزیه‌ی میکروبی مؤثر در ثبات خاکدانه‌ها خواهد شد. شکل ۳۶-۴ تقویت خاکدانه‌ای شدن را که از افزایش کود مرغی به یک خاک لوم رسی حاصل شده است نشان می‌دهد.

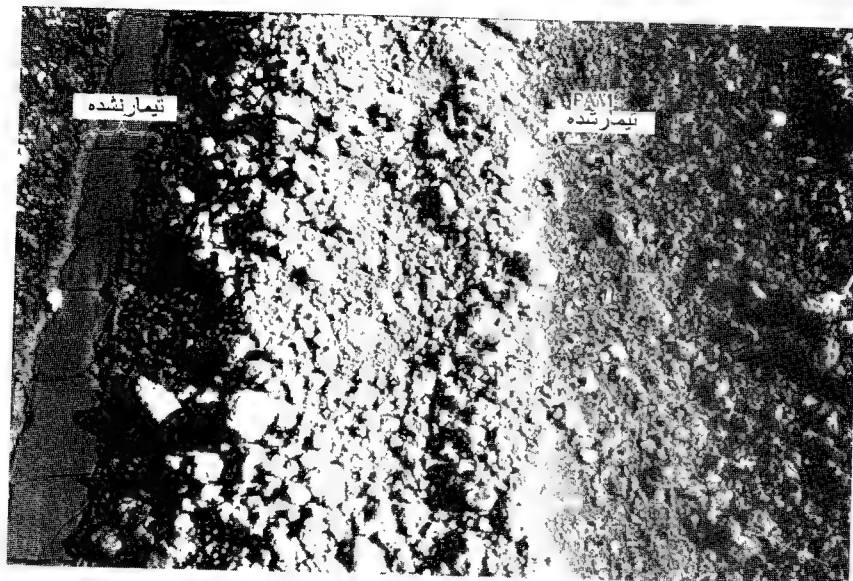
۵- قراردادن گیاهان چمنی در تناوب به‌خاطر کمک به نگهداری ماده‌ی آلی و امکان حداکثر تأثیر در خاکدانه‌سازی به‌وسیله‌ی ریشه گیاهان و تضمین یک دوره بی‌خاک‌ورزی برای خاکدانه‌سازی پایدار مطلوب است. اطلاعات جدول ۹-۴ اثر زیانبار کشت مداوم ذرت و اهمیت سایر گیاهان غیرردیفی را برای حفظ خاکدانه‌های پایدار در آب تشریح می‌کنند.

۶- استفاده از گیاهان پوششی و گیاهان کود سبز در صورت امکان، یک منبع خوب دیگری از فعالیت ریشه و ماده‌ی آلی برای مدیریت ساختمان خاک فراهم می‌آورد.

۷- مصرف گچ (و یا سنگ آهک وقتی خاک اسیدی باشد) به‌تنهایی و یا در ترکیب با پلی‌مرهای مصنوعی می‌تواند در تثبیت خاکدانه‌های سطحی به‌خصوص در خاک‌های تحت آبیاری مؤثر باشد.



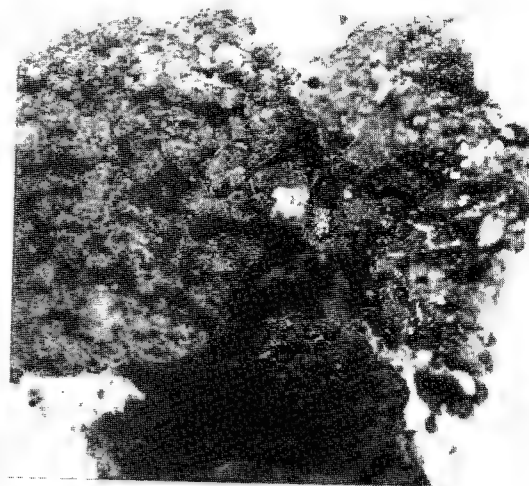
شکل ۳۴-۴ ریز تصویر الکترونیکی منقطع از ۱ میلی‌متر خاک فوقانی با خاکدانه‌های پایدار (الف) در مقایسه با خاکدانه‌های ناپایدار (ب). توجه کنید که خاکدانه‌ها بلافاصله در سطح خاک تخریب و یک سله‌ی سطحی ایجاد شده است. گیاهچه‌های لوبیا (ج) به‌محض خروج از بستر بذر باید سله‌ی خاک را خرد کند.



شکل ۳۵-۴ اثرات قابل ملاحظه پلی‌اکریل آمید مصنوعی در پایداری خاکدانه‌ها از شیار واقع در سمت راست عکس در مقایسه با شیار تیمار نشده در سمت چپ عکس دیده می‌شود. آب آبیاری ساختمان بسیاری از خاکدانه‌های خاک تیمار نشده را تخریب کرده اما اثری بر روی شیار تیمار شده نداشته است.



(الف)



(ب)

شکل ۳۶-۴ مخلوط کردن کود دامی و سایر مواد آلی دارای سهولت تجزیه می‌تواند اثرات شدیدی بر خاکدانه‌سازی خاک به‌خصوص ایجاد خاکدانه‌های بزرگ پایدار داشته باشد. این خاک که از آن عکس گرفته شده است. لوم رسی داویدسون (پالودولت^۱) از ایالت ویرجینیا می‌باشد که در آن کود شیمیایی (الف) و یا کود مرغی (ب) برای مدت ۵ سال مصرف شده است درحالی‌که هر دو خاک دارای نسبت بالایی از خاکدانه‌های پایدار در آب می‌باشند در خاک تیمار شده با کود مرغی دارای خاکدانه‌ها و منافذ درشت‌تری می‌باشد. عرض هر عکس ۱۰ سانتی‌متر است.

جدول ۹-۴ خاکدانه‌های پایدار در آب در یک خاک یودول (لوم سیلتی مارشال) نزدیک کلاریندا در ایالت آیوا زیر کشت‌های مختلف

زراعت	درصد خاکدانه‌های پایدار در آب	
	کوچک‌تر از ۱ میلی‌متر	بزرگ‌تر از ۱ میلی‌متر
کشت مداوم ذرت	۹۱/۲	۸/۸
ذرت در تناوب	۷۶/۷	۲۳/۳
چمن در تناوب	۵۷/۸	۴۲/۲
کشت بلوگراس مداوم	۴۳	۵۷

^۱ - Davidson clay loam (Paleudults)

۹-۴ خصوصیات خاک در ارتباط با استفاده‌های مهندسی

درجات مختلف استحکام خاک در مزرعه و مفهوم پایداری

استحکام خاک^۱: واژه‌ای است که به وسیله دانشمندان خاک برای تشریح مقاومت خاک به تنش مکانیکی و یا دستکاری آن در مقادیر مختلف رطوبت اطلاق می‌شود. درجه بندی استحکام خاک‌ها به صورت بخشی از تشریح خاک‌رخ و برآورد تناسب خاک برای حمل و نقل و خاک‌ورزی انجام می‌شود. این خصوصیت یک بیان مرکب از نیروهای جاذبه‌ی دو جانبه بین ذرات خاک و بین ذرات خاک و آب داخل منافذ می‌باشد که در آن سهولت تغییر شکل و یا شکسته شدن خاک تعیین می‌شود. استحکام در مزرعه معمولاً به وسیله‌ی لمس کردن و دستکاری خاک مشخص می‌گردد. وقتی یک کلوخه کوچک در بین انگشتان شست و اشاره فشار داده می‌شود (و یا زیر پا خرد می‌شود) مقدار نیروی لازم برای خرد کردن کلوخه، و حالتی که در آن خاک به نیرو عکس‌العمل نشان می‌دهد مورد ملاحظه قرار می‌گیرد. میزان سیمانی شدن خاک با موادی مانند سیلیس، کلسیت و یا آهن نیز در تعیین استحکام خاک مورد ملاحظه قرار می‌گیرد. میزان رطوبت خاک تا حد زیادی در چگونگی واکنش خاک به فشار تأثیر دارد؛ بنابراین درجه بندی خاک‌های خشک و مرطوب جداگانه انجام می‌شود (جدول ۱۰-۴). یک خاک خشک رسی، که نمی‌تواند بین انگشتان شست و اشاره خرد شود، اما می‌تواند به سهولت زیر پا خرد شود، سخت^۲ قلمداد می‌شود. این خاک مقاومت بیشتری را در مقابل تغییر شکل در حالت خشک خود نسبت به حالت مرطوب و شکل پذیر خود نشان می‌دهد. شخصی که اتومبیل او تا محورهای چرخ در گل چسبناک فرو رفته است دارای تجربه دست اولی از این خصوصیات می‌باشد. درحالی که اکثر واژه‌های جدول ۱۰-۴ دارای توضیحات کافی است، واژه خرد شونده^۳ نیازمند به توضیح بیشتری است. اگر یک کلوخه مرطوب خاک با اندک فشار شکسته شده و به صورت خاکدانه درآید، می‌شود. به آن خرد شونده گفته می‌شود در خاک‌های خرد شونده به آسانی خاک‌ورزی و حفاری انجام می‌شود.

درجه‌ی چسبندگی و شکل پذیری (قابلیت تغییر شکل^۴) خاک در شرایط مرطوب معمولاً در تشریح استحکام خاک بیان می‌شود. (گرچه در جدول ۱۰-۴ نشان داده نشده است).

پایداری^۵: واژه پایداری با روش مشابهی به وسیله مهندسين خاک برای بیان میزان مقاومت یک خاک در مقابل تغییر شکل هنگام اعمال یک نیرو مورد استفاده قرار می‌گیرد. هرچند پایداری خاک برپایه مقاومت در مقابل فرو رفتن یک شیئی در داخل آن مشخص می‌شود استحکام خاک به نظر دانشمندان علوم خاک مقاومت به پاره شدن می‌باشد. به جای خرد کردن یک کلوخه، مهندس خاک تلاش می‌کند که نه تراشیده یک مداد (بعضی از انگشت شست خود استفاده می‌کنند) و یا ناخن شست خود را در آن داخل کند. برای نمونه اگر ته مداد مقدار اندکی و ناخن شست به آسانی فرو رود خاک خیلی سفت^۶ درجه بندی می‌شود (جدول ۱۰-۴).

مشاهدات صحرایی استحکام و پایداری خاک هر دو اطلاعات قابل ارزشی را درمورد بارگذاری و دستکاری خاک‌ها ارائه می‌دهد. هرچند در ساختمان سازی مهندسين خاک معمولاً باید از تعدادی از خصوصیات مربوط به خاک، که در تخمین چگونگی عکس‌العمل خاک به نیروی به کار برده به ما کمک می‌کنند، اندازه گیری‌های دقیق تری به عمل آورند.

مقاومت خاک و شکست ناگهانی^۷

شاید مهمترین ویژگی یک خاک برای استفاده مهندسی مقاومت آن باشد؛ و این میزان ظرفیت یک توده خاک برای مقاومت در مقابل تنش‌ها و تحمل آن‌ها بدون پاره شدن و تغییر شکل می‌باشد. شکست یک خاک در مقابل تنش را می‌توان با سرنگون شدن ساختمان وقتی وزن آن از ظرفیت بار گذاری خاک افزونی یابد، و یا وقتی سد خاکی در مقابل فشار آب مخزن پشت سد ویران می‌شود و یا وقتی پیاده‌روها و ساختمان‌ها در یک شیب ناپایدار می‌لغزند، مشاهده کرد.

¹ - Consistence

² - Hard

³ - Friable

⁴ - Malleability

⁵ - Consistency

⁶ - Very firm

⁷ - Soil strength and Sudden failure

جدول ۱۰-۴: بعضی از آزمایش‌های صحرایی و واژه‌هایی مورد استفاده برای تشریح استحکام و آری خاک‌ها. پایداری مواد چسبنده در ارتباط نزدیک با استحکام آن‌ها بوده اما دقیقاً مساوی آن نیست. شرایط کمترین چسبندگی به وسیله‌ی واژه‌هایی در بالای هر ستون و چسبندگی‌های بیشتر در پایین ستون آمده است.

پایداری خاک		استحکام خاک			
خاک خشک	خاک مرطوب	خاک خشک شده سپس در آب مستغرق شده	خرد شدن صحرایی از آزمایش (خرد شدن)	خاک با رطوبت موجود	آزمایش‌های صحرایی فرو رفتن جسم در خاک
سست ^۱	سست	---	نمونه نمی‌توان گرفت	نرم	ته مداد به راحتی تا عمق زیادی فرو می‌رود
نرم ^۲	خیلی ترد ^۳	سیمانی نشده ^۴	با نیروی خیلی اندک بین شست و اشاره خرد می‌شود	سفت متوسط	ته مداد با فشار متوسط تا عمق ۱.۲۵ سانتی‌متر فرو می‌رود
کمی سخت ^۵	ترد	خیلی کم سیمانی شده	با نیروی اندک بین شست و اشاره خرد می‌شود	سفت	ته مداد تا ۰.۵ سانتی‌متر فرو می‌رود
سخت	سفت ^۶	کمی سیمانی شده	بین شست و اشاره به سختی خرد می‌شود	خیلی سفت	فرو رفتن ته مداد به سختی قابل تشخیص است
خیلی سخت	خیلی سفت	متوسط سیمانی شده	بین شست و اشاره خرد نمی‌شود	سخت	فرو رفتن ته مداد قابل مشاهده نیست ناخن شست به سختی فرو می‌رود
فوق نغده سخت	کمی صلب سفت	قوی سیمانی شده	با وزن تمام بدن بر روی آن زیر پا خرد نمی‌شود	---	---

خاک‌های چسبنده: دوجزء از مقاومت را می‌توان در مورد خاک‌های چسبنده (عمدتاً خاک‌هایی که دارای میزان رس بیشتر از ۱۵ درصد می‌باشند) به کار برد. (۱) نیروهای جاذبه الکتریسته ساکن ذاتی بین صفحات رسی و بین سطوح رس با آب موجود در منافذ خیلی ریز (به بحث همآوری رس در بخش ۷-۴ مراجعه کنید) و (۲) مقاومت اصطکاکی به حرکت در بین ذرات خاک در تمام اندازه‌ها. گرچه اندازه‌گیری‌هایی مختلف آزمایشگاهی برای برآورد مقاومت خاک به عمل می‌آید، اما شاید ساده‌ترین روش قابل فهم آزمایش تراکم خاک غیرمجموس^۷ و استفاده از وسیله‌ای می‌باشد که در شکل ۳۷-۴ الف نشان داده شده است. یک نمونه استوانه‌ای از خاک چسبنده به‌طور قائم بین دو سنگ صاف مشبک قرار گرفته (امکان خروج آب را از منافذ خاک متراکم شده فراهم می‌کند) و نیروی روبه‌پایین به تدریج افزایش می‌یابد. ستون خاک ابتدا شکم برآمدگی پیدا کرده و بعد دچار شکست می‌شود. وقتی نیروی اعمال شده از مقاومت خاک فزونی می‌یابد خاک ناگهان تسلیم شده و فرو می‌ریزد.

مقاومت خاک‌های چسبنده در صورتی که مواد خیلی مرطوب بوده و منافذ تقریباً از آب پر باشند به‌طور شدیدی کاهش می‌یابد در اینصورت ذرات خاک از یکدیگر جدا شده، به‌طوری‌که نه جزء چسبنده و نه جزء اصطکاکی خیلی قوی بوده و سبب می‌شود خاک دچار شکست شده و در نتیجه مصیبت‌هایی همانند لغزش گل که در شکل ۳۸-۴ نشان داده شده است، به بار آید. از طرف دیگر اگر خاک‌های چسبنده خشک شده و بیشتر متراکم شوند، مقاومت آن‌ها در اثر تماس نزدیک ذرات با هم افزایش می‌یابد، نتیجه‌ای که دارای کاربردهای زیادی برای رشد ریشه گیاه و همین‌طور موارد مهندسی می‌باشد. (بخش ۵-۴ را مشاهده کنید).

خاک‌های غیرچسبنده: مقاومت خاک‌های خشک غیرچسبنده مانند شن کلاً وابسته به نیروهای اصطکاکی از جمله در هم قفل شدن سطوح ناهموار مواد دارد. مقاومت مواد غیرچسبنده در زاویه خواب آن‌ها^۸، تندترین زاویه‌ای که آن‌ها بدون ریزش می‌توانند روی هم تل انبار شوند، تجلی می‌یابد. شن‌های صاف گرد نمی‌توانند همانند شن‌های ناهموار در هم قفل شده روی هم تل انبار شوند. اگر اندکی آب بین ذرات پل ایجاد کنند جذب الکتریسته ساکن آب و سطوح جامدات سبب افزایش مقاومت خاک خواهد شد. پل بین ذرات توضیح می‌دهد که چگونه خودروهایی که در کنار یک ساحل وقتی شن مرطوب است می‌توانند حرکت کنند اما چرخ آن‌ها در شن‌های سست خشک و یا در شن‌های اشباع روان^۹ فرو می‌رود و قادر به حرکت نمی‌باشد.

¹ - Loose

² - Soft

³ - Very friable

⁴ - Noncemented

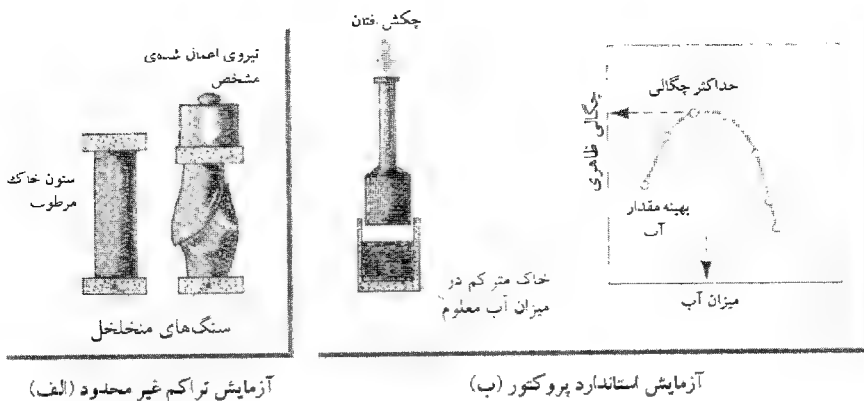
⁵ - Slightly hard

⁶ - Firm

⁷ - Unconfined Compression test

⁸ - Angle of repose

⁹ - Quick sand



شکل ۳۷-۴: دو آزمون مهم برای تعیین ویژگی‌های مهندسی مواد خاکی، (الف) تراکم غیرمحبوس برای تعیین مقاومت خاک (ب) آزمون پروکتور برای تعیین حداکثر چگالی و میزان آب بهینه برای تنظیم تراکم



شکل ۳۸-۴: خانه‌ها در اثر لغزش کل که در اثر اشباع خاک‌های یک دامنه تپه به دنبال یک دوره بارندگی شدید در اورگن دچار خسارت شده‌اند. وزن خاک خیس از مقاومت برشی آن فراتر رفته و سبب لغزش شیب شده است. حفاری‌ها برای جاده‌سازی و ابنیه نزدیک دامنه‌ی شیب می‌تواند به ناپایداری دامنه کمک کند و همین‌طور برداشت ریشه گیاهان بر اثر جنگل‌تراشی سنگین در روی شیب می‌تواند همین نتایج را داشته باشد.

خاک‌های وارونده^۱: خاک‌های خاص که مقاومت قابل‌ملاحظه‌ای با آب کم موجود در خود نشان می‌دهند در صورت مرطوب شدن ناگهان مقاومت خود را از دست می‌دهند. این خاک‌ها بدون هر نوع اختلال قبلی در زیر پی ساختمان و یا جاده فرو می‌ریزند. یک حالت خاص از فرو پاشی تیکسوتروپی^۲ است که عبارت است از سیلان ناگهانی یک خاک مرطوب در اثر لرزش‌های که عمدتاً با زلزله و انفجار همراه می‌باشد.

اکثر خاک‌های وارونده از مواد غیرچسبنده تشکیل شده که در آن‌ها دانه‌های شن با تراکم سست به وسیله مقدار کمی گچ، رس و یا آب در تحت تنش در نقاط محل تماس خود سیمانی شده‌اند این خاک‌ها معمولاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار دارند که در آن‌ها این مواد سیمانی‌کننده نسبتاً پایدار می‌باشند. بسیاری از خاک‌های وارونده تنظیم ذرات متخلخل خود را بر اثر ته‌نشینی در زیر آب‌های قسیمی و یا کنونی به‌دست آورده‌اند. وقتی این خاک‌ها خیس می‌شوند آب اضافی ممکن است سبب حل شدن مواد شیمیایی مانند گچ و یا پراکنده‌گی رس‌هایی گردد که پل بین ذرات را تشکیل می‌دهند، و در نتیجه سبب کاهش سریع مقاومت گردد. در بعضی موارد رفتار مشابهی در اکسی‌سول‌های خیلی هوادیده در مناطق مرطوب گرمسیر مشاهده می‌شود. هرچند از آن‌جاکه رس‌های قابل‌انتشار، و یا سیمان‌های قابل‌حل،

^۱ - Collapsible soil

^۲ - Thixotropy

در آب وجود ندارد سازوکار فروپاشی در این خاک‌ها هنوز روشن نیست. در هر حال، یک مهندس خاک مایل است از وجود چنین خاک‌هایی مطلع گردد.

نشست^۱ - تراکم تدریجی

در حالی که پشته‌های خاکی و شیب‌های تند معمولاً به دلیل تنش‌هایی که از مقاومت خاک فراتر است دچار شکست می‌گردند. به نظر می‌رسد اکثر ساختمان‌ها و جاده‌ها بارهایی را اعمال کنند که سبب گسسته شدن خاک گردند. در عوض، اکثر مسایل پی ساختمان‌ها در نتیجه فرو نشست عمودی اغلب غیر یکنواخت آرام، و یا نشست خاک حاصل می‌شود.

تنظیم تراکم: از نظر رشد نباتات، از تراکم خاک باید اجتناب کرد. هر چند خاک‌ها قبل از استفاده برای جاده‌سازی یا ایجاد پی ساختمان باید عمداً مورد تراکم قرار گیرند تا تراکم حاصل بر اثر بارهای سنگین بعدها، سبب نشست غیر یکنواخت و ترک برداشتن پیاده‌روها و پی ساختمان‌ها نگردد. تراکم تا رسیدن به چگالی بهینه معمولاً در خاک‌های رسی با زدن غلطک‌های پاچه‌بزی، که خاک را همانند یک گلوله خمیر نانویی ورز می‌دهد، به دست می‌آید (شکل ۳۹-۴). در خاک‌های شنی غلطک‌های لرزان و یا چکش‌های کوبنده بهتر عمل می‌کنند، زیرا آن‌ها می‌توانند ذرات را با ارتعاش به صورت یک توده متراکم درآورند. (شکل ۱۷-۴ را مشاهده کنید).

وقتی باری بر روی بعضی از ذرات خاک مانند رس‌های سیلیکاتی کلوییدی خاص و میکاها در تمام اندازه‌ها گذاشته شود. آن‌ها را متراکم می‌کند. وقتی بار، برداشته شود این ذرات تمایل دارند که شکل اولیه خود را مجدداً به دست آورده و برعکس تراکم عمل کنند. در نتیجه خاک‌های غنی از این ذرات به آسانی برای ایجاد پی ساختمان‌ها و جاده‌ها تراکم نمی‌یابند.

آزمایش پروکتور^۲ معمول‌ترین روش برای کسب اطلاعاتی است که می‌تواند اقدام لازم برای تنظیم تراکم را قبل از ایجاد ساختمان هدایت کند. به یک نمونه خاک تا کسب میزان رطوبت لازم آب اضافه می‌شود و در یک محفظه به وسیله یک چکش افتان (با وزن ۲۰ کیلوگرم در آزمایش استاندارد پروکتور) مورد تراکم قرار می‌گیرد. سپس چگالی ظاهری (معمولاً مهندسی آنرا چگالی خشک می‌نامند) اندازه‌گیری می‌شود. این فرایند چندین بار با افزایش میزان آب تکرار می‌شود. تا این که اطلاعات کافی برای تولید یک منحنی پروکتور فراهم گردد، همانند آنچه که در شکل ۳۷-۴ ب آمده است. منحنی بیانگر حداکثر چگالی ظاهری است که خاک ممکن است بر اثر یک نیروی مشخص تحت تراکم درآید با همین اهمیت، آزمایش تعیین کننده مقدار آب بهینه موجود در خاک برای ایجاد حداکثر تراکم می‌باشد. وقتی خاک از این حد مرطوب‌تر و یا خشک‌تر باشد تراکم آن بسیار مشکل‌تر خواهد بود. در محل ایجاد سازه در صورت نیاز مخزن‌های حمل آب مورد استفاده قرار می‌گیرند تا آب خاک را به حد رطوبت بهینه برسانند و ادوات تراکم مانند آن‌چه در شکل ۳۹-۴ نشان داده شده است برای به دست آوردن تراکم مطلوب مورد استفاده قرار گیرند.



شکل ۳۹-۴ تراکم خاک‌های مورد استفاده برای پی و بستر جاده‌ها به وسیله ادوات سنگین مانند این غلطک پاچه‌بزی انجام می‌شود. برآمدگی‌ها (پاچه‌بزی) جرم را بر روی سطح برخورد کوچکی متمرکز می‌سازد و سبب فشردن و ورزدادن خاک سست تازه صاف شده تا کسب یک چگالی بهینه می‌باشد

^۱ - Settlement

^۲ - Proctor test

تراکم پذیری: آزمایش تحکیم^۱ را می‌توان بر روی نمونه خاک برای تعیین تراکم پذیری^۲ خاک انجام داد و این به این معنی است چه مقدار از حجم آن با اعمال یک نیروی خاص کاهش می‌یابد. به‌خاطر تخلخل کم و شکل ذرات معدنی با ابعاد یکسان، خاک‌های خیلی شنی پس از جایگیری در یک ترتیب نزدیک به هم کمتر مورد تراکم قرار می‌گیرند. این مواد خاک‌های بسیار عالی را برای پی ساختمان تشکیل می‌دهند. تخلخل بالای ذرات رس و شکل پوسته‌پوسته‌ای ذرات رسی تراکم‌پذیری بسیار زیادی را در آن‌ها ایجاد می‌کند. خاک‌هایی که عمدتاً از مواد آلی تشکیل شده‌اند (پیت) دارای حداکثر تراکم پذیری بوده و معمولاً برای پی ساختمان مناسب نمی‌باشند.

تراکم خاک‌های رسی مرطوب در مزرعه به‌دنبال بارگذاری (ایجاد یک ساختمان) بسیار آهسته صورت می‌گیرد زیرا تراکم وقتی تحقق می‌یابد که آب هرچه سریع‌تر بتواند از منافذ خاک فرار کند، در منافذ ریز مواد رسی این عمل خیلی سریع انجام نمی‌شود. شاید مشهورترین نمونه از تحکیم غیریکنواخت به‌خاطر تراکم کند، برج کج پیزا در ایتالیا است. متأسفانه اکثر تحکیم‌های غیریکنواخت به گردشگری نینجامیده و منتهی به دردرس می‌شوند.

خاک‌های انبساط‌پذیر

خسارت ناشی از خاک‌های انبساط‌پذیر در ایالات متحده به‌ندرت در اخبار روزنامه‌های عصر می‌آید، گرچه هزینه‌ی کل سالانه از آن‌چه به‌وسیله‌ی گردباد، سیل، زلزله و یا هر نوع مصیبت طبیعی دیگر به‌بار می‌آید بالاتر می‌باشد. رس‌های انبساط‌پذیر در ۲۰ درصد سطح کشور آمریکا وجود داشته و بالاتر از ۴ میلیارد دلار سالانه خسارت در جاده‌ها، ساختمان‌ها و خطوط انتقال آب و برق و گاز به‌بار می‌آورند. خسارت در بعضی نقاط کشور می‌تواند شدید باشد، اما در مناطقی که دوره‌های خشک طولانی به‌دنبال دوره‌های بارندگی (کالیفرنیا، تگزاس و یونیک وکلرادو) دارند، بسیار گسترده‌تر می‌باشد.

بعضی از رس‌ها، به‌خصوص رس‌های اسمکتیت، وقتی مرطوب هستند انبساط یافته و وقتی خشک هستند انقباض می‌یابند (بخش ۵-۸ را مشاهده کنید). خاک‌های انبساط‌پذیر از این رس‌ها غنی می‌باشند. بارهای الکتریسته ساکن بر روی رس مولکول‌های آب از منافذ درشت‌تر را به‌داخل فضای بین ورقه‌های رس جذب می‌کند. همچنین کاتیون‌های جذب شده همراه با سطوح رس تمایل دارند که آبیگری کنند و آب اضافی را به‌داخل رس بکشانند. آب ورقه‌های رس را جدا کرده و سبب انبساط حجم توده‌ی خاک می‌گردد. عکس این فرایند وقتی خشک خشک شده و آب از لایه‌های رسی خارج می‌گردد صورت گرفته و سبب انقباض و ترک‌برداری خاک می‌شود. بعد از یک فصل خشک طولانی، خاک‌های غنی از رس اسمکتیت را می‌توان به‌وسیله‌ی حالت متقاطع ترک‌های عریض عمیق (شکل ۴۰-۴) تشخیص داد. انبساط و انقباض سبب حرکت کافی خاک و ترک‌برداری پی ساختمان‌ها، خردشدن خطوط لوله و برآمدگی پیاده‌روها گردد.



شکل ۴۰-۴ انواع خاصی از رس‌ها، به‌ویژه اسمکتیت دچار تغییرات شدیدی در حجم همراه با تغییر در میزان آب می‌شوند دراین عکس یک خاک انبساط یافته و سبب ایجاد شبکه‌ای از ترک‌های بزرگ که در سطح خاک باز شده‌اند، گردیده است

^۱ - Consolidation test

^۲ - Compressibility

حدود اتربرگ^۱

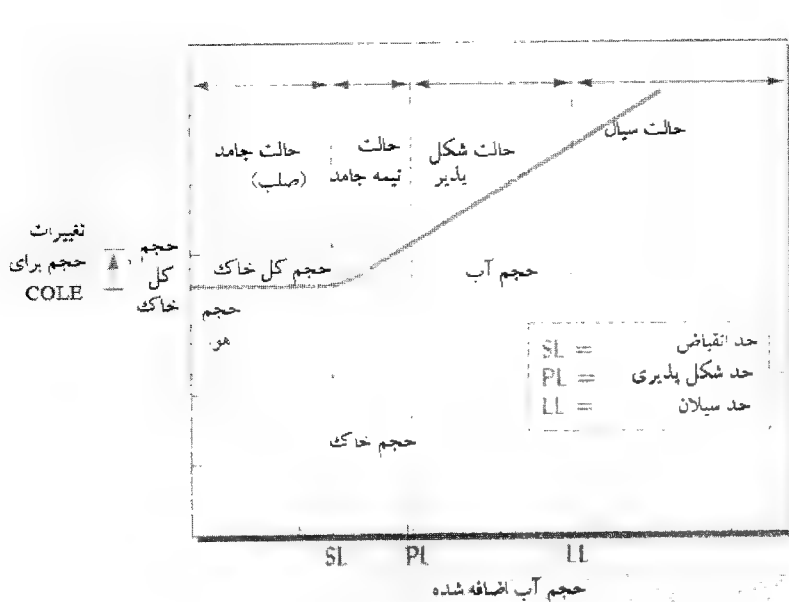
وقتی یک خاک خشک رسی مقادیر رو به افزایش آب را دریافت می‌دارد. دچار تغییرات شگفت‌انگیزی در رفتار و استحکام می‌گردد. جسم جامد صلب سخت در حالت خشک، هنگامی که به یک مقدار مشخص رطوبت می‌رسد (حد انقباض^۲) به حالت نیمه‌جامد ترد خرد شونده^۳ در می‌آید. اگر خاک دارای رس‌های انبساط‌پذیر باشد، با افزایش میزان آب شروع به انبساط حجم می‌کند. با افزایش میزان آب بیشتر از حد شکل‌پذیری^۴ سبب تغییر خاک به یک حالت قابل انعطاف^۵ شکل‌پذیر گردیده، و خاک، انبساط بیشتری خواهد یافت. خاک در این حالت شکل‌پذیر باقی مانده تا این‌که میزان آب از حد سیلان^۶ بیشتر شده و سبب تغییر شکل خاک به مایع سیال گردد، که در صورت ارتعاش جریان خواهد یافت. به این میزان آب بحرانی (بر حسب درصد وزنی خاک خشک) به‌خاطر اتربرگ مهندس آلمانی که این نظام را ابداع کرد واژه‌ی حدود اتربرگ اطلاق می‌شود. مهندسين خاک حدود اتربرگ را به‌عنوان بخشی از تحقیقات خود درمورد پایداری خاک تعیین می‌کنند تا در برآورد رفتار خاک‌های به‌ویژه، و تناسب آب‌ها برای مقاصد مختلف ساختمانی، کمک کند.

نمایه شکل‌پذیری^۷: نمایه شکل‌پذیری (PI) تفاوت بین حد پلاستیک (PL) و حد سیلان (LL) خاک‌ها بوده و مشخص‌کننده‌ی دامنه‌ی میزان آب است که در آن خاک دارای خصوصیات شکل‌پذیری می‌باشد.

$$PI = LL - PL$$

خاک‌هایی با نمایه شکل‌پذیری بالا (بیشتر از ۲۵ درصد) معمولاً از رس‌های متورم شونده تشکیل شده‌اند که سبب ایجاد بسترهای جاده‌سازی و یا ساختمانی ضعیف می‌گردند. شکل ۴۱-۴ رابطه‌ی بین حدود اتربرگ را با تغییرات در حجم خاک که همراه با افزایش میزان آب برای یک خاک فرضی است نشان می‌دهد.

رس‌های اسمکتیت (بخش ۵-۸ را مشاهده کنید) معمولاً دارای حد سیلان و نمایه شکل‌پذیری بالایی می‌باشند، به‌خصوص اگر با سدیم اشباع شده باشند. حد سیلان رس کائولینیت و سایر رس‌های غیرمتورم شونده پایین است. حدود شکل‌پذیری و سیلان چند خاک و سه نوع نمونه رس در جدول ۴۱-۴ نشان داده شده است.



شکل ۴۱-۴ تجسم کلی از حدود اتربرگ که تغییرات در رفتار یک خاک چسبنده را با تغییرات میزان آب آن مشخص می‌سازد (از سمت چپ به راست) به‌محض افزودن آب به یک حجم مشخص خاک خشک، اول هوا جابه‌جا می‌شود، سپس اگر آب بیشتر اضافه شود حجم کل خاک (اگر خاک خصوصیات انبساط‌پذیری داشته باشد) افزایش می‌یابد. وقتی به حد انقباض می‌رسیم (SL)، خاک صلب سخت جامد به یک توده‌ی ترد نیمه‌جامد تبدیل می‌شود. با آب بیشتر به حد پلاستیک (PL)

می‌رسیم که از آن به‌بعد خاک شکل‌پذیر گردیده و می‌تواند به قالب‌های خاص درآید. خاک در این مرحله شکل‌پذیر در دامنه‌ی وسیعی از رطوبت باقی می‌ماند تا به حد سیلان (LL) می‌رسیم که در این حالت همانند یک مایع گرانرو (سیال) عمل می‌کند که با تکان دادن به حرکت در می‌آید. تغییر حجم برای محاسبه ضریب انبساط خطی COLE در سمت چپ شکل نشان داده شده است.

^۱ - Atterberg limits

^۲ - Shrinkage limit

^۳ - Crumbly (friable)

^۴ - Plastic limit

^۵ - Malleable

^۶ - Liquid limit

^۷ - Plasticity index

جدول ۱۱-۴ حدود شکل‌پذیری و سیلان خاک‌های مختلف و رس اسمکتیت اشباع از کلسیم و سدیم خاک‌های رسی با مقادیر زیادی از رس اسمکتیت (ساکوها‌نا و بشاو) دارای حد سیلان بالایی می‌باشند، رس‌های اشباع از سدیم نیز چنین می‌باشند.

خاک	محل	حد شکل‌پذیر	حد سیلان	نمایه شکل‌پذیری
داوید سون (یودولت)	جورجیا	۱۹	۲۷	۸
سیسیل (یودولت)	جورجیا	۲۹	۴۹	۲۰
پوتنام (اکوالف)	جورجیا	۲۴	۳۷	۱۳
ساکوها‌نا (یودالف)	جورجیا	۲۹	۵۷	۲۸
اسلیب راک (یودپت)	جورجیا	۴۶	۵۹	۱۳
جوری (یودولت)	اورگن	۳۰	۴۵	۱۵
بشاو (زرت)	اورگن	۱۸	۷۱	۵۳
رس اسمکتیت اشباع از سدیم	---	---	۹۵۰	---
رس اسمکتیت اشباع از کلسیم	---	---	۳۶۰	---
کائولیت اشباع از سدیم	---	---	۳۶	---

ضریب انبساط خطی^۱: انبساط‌پذیری یک خاک (بنابراین خطر تخریب پی‌ها و جاده‌ها) می‌تواند به‌طور کمی به‌صورت ضریب انبساط خطی، اندازه‌گیری شود. فرض کنید که یک نمونه خاک تا حد ضریب شکل‌پذیری (PL) مرطوب شده باشد و به شکل یک میله به‌صورت LM در آید. اگر میله‌ی خاک هوا خشک شود، به طول LD انقباض خواهد یافت. ضریب انبساط طولی عبارتست از درصد کاهش طول میله خاک در اثر انقباض می‌باشد.

$$COLE = \frac{LM - LD}{LM} \times 100$$

شکل ۴۱-۴ مشخص می‌سازد که چگونه تغییرات حجم برای محاسبه COLE با حدود اتربرگ ارتباط دارد

نظام یکسان طبقه‌بندی مصالح خاکی^۲

مهندسين نظامی ارتش آمریکا و اداره بازسازی اراضی آمریکا یک نظام طبقه‌بندی خاک را که بسیار مورد استفاده است به‌منظور برآورد رفتار مهندسی خاک‌های مختلف ایجاد کرده‌اند. به هر نوع خاک دو حرف معرف. عمدتاً بر اساس توزیع اندازه‌ی ذرات آن (بافت)، حدود اتربرگ و میزان ماده‌ی آلی اختصاص یافته است (شکل ۴۲-۴).

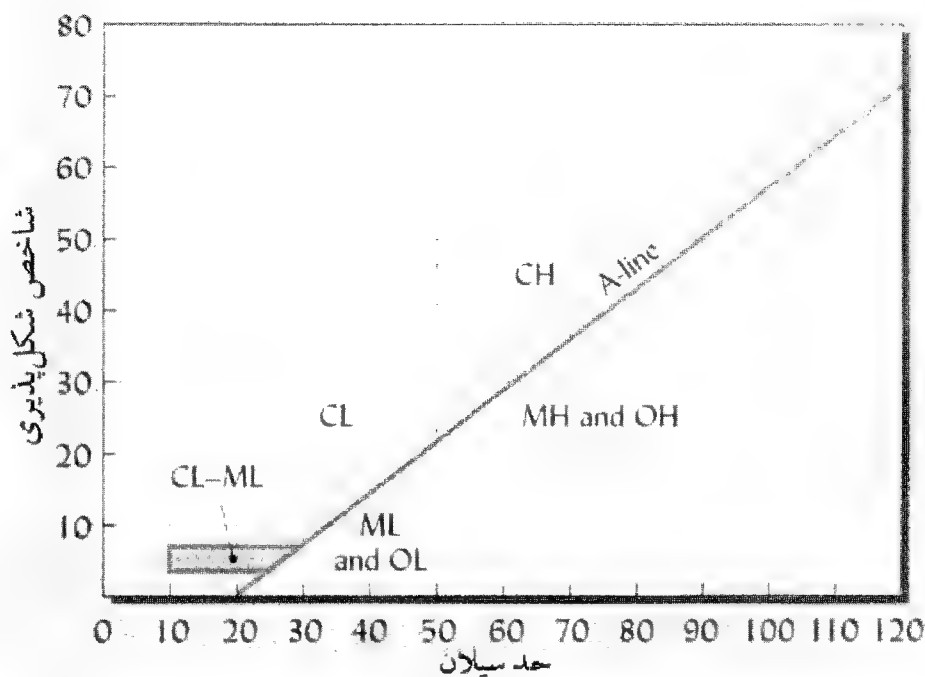
این نظام ابتدا خاک را بر اساس خاک‌های دانه درشت (بیشتر از ۵۰ درصد بر روی الک ۰/۰۷۵ میلی‌متر باقی بماند) و دانه‌ریز (نصف ذرات کوچک‌تر از ۰/۰۷۵ میلی‌متر) تقسیم‌بندی می‌کند. مواد دانه‌درشت بر اساس اندازه‌ی ذرات (سنگ‌ریزه و شن)، مقدار ذرات ریز موجود و یکنواختی اندازه‌ی ذرات (دانه‌بندی خوب و یا ضعیف) تقسیم‌بندی، و مواد دانه‌ریز به لای، رس و مواد آلی تفکیک می‌شوند. این طبقات خود براساس حد سیلان (بالا‌تر یا پایین‌تر از ۵۰) و نمایه شکل‌پذیری به زیر طبقات بیشتری تقسیم‌بندی می‌شوند.

این طبقه‌بندی مواد خاکی به مهندسين کمک می‌کند که مقاومت خاک، انبساط، تراکم‌پذیری و سایر ویژگی‌های آن را برآورد نموده و طرح‌های مهندسی مناسبی را برای خاک‌های موجود ارائه دهند.

^۱ - Coefficient Of Linear Extensibility (COLE)

^۲ - Unified Classification System for soil Materials

نام شاخص	علامت گروه	تقسیم‌بندی عمده		
سنگریزه خوب دانه‌بندی‌شده و مخلوط سنگریزه و شن بدون ویا با کمی مواد دانه‌ریز	GW	سنگریزه یکدست	سنگریزه با ۵۰ درصد و بیشتر از	خاک‌های دانه درشت بیشتر از ۵۰ درصد بر روی الک نمره ۲۰۰ چشمه باقی می‌ماند
سنگریزه با دانه‌بندی ضعیف و مخلوط سنگریزه و شن بدون ویا با کمی مواد دانه‌ریز	GP			
سنگریزه لای‌دار و مخلوط سنگریزه شن و لای	GM	سنگریزه همراه با مواد ریز	مواد دانه درشت که بر روی الک ۴ چشمه باقی می‌ماند	
سنگریزه رس‌دار و مخلوط سنگریزه و شن و رس	GC			
شن‌های خوب دانه‌بندی‌شده و شن‌های سنگریزه‌دار بدون ویا با کمی مواد دانه‌ریز	SW	شن یکدست	شن بیشتر از ۵۰ درصد مواد دانه درشت که از الک ۴ چشمه می‌گذرد	۲۰۰ چشمه باقی می‌ماند
شن‌ها با دانه‌بندی ضعیف و مخلوط سنگریزه و شن بدون ویا با کمی مواد دانه‌ریز	SP			
شن‌های لای‌دار و مخلوط شن و لای	SM			
شن‌های رس‌دار و مخلوط شن و رس	SC			
لای غیرآلی، شن‌های خیلی ریز، آرد سنگ، شن ریز لای‌دار و یا رس‌دار	ML	لای و رس حد سیلان ۵۰ درصد و کمتر		
رس غیرآلی با شکل‌پذیری کم تا متوسط، رس‌های سنگریزه‌دار، رس‌های شنی، رس‌های سیلتی و رس‌های لاغر (بدون انبساط)	CL			
لای آلی و رس لای‌دار آلی با شکل‌پذیری کم	OL			
لای غیرآلی، شن ریز و لای میکادار و یا دیاتومه. رس شکل‌پذیر	MH	لای‌ها و رس‌های با حد سیلان بیشتر از ۵۰ درصد		
رس غیرآلی، شکل‌پذیری زیاد، رس چاق (با انبساط)	CH			
رس آلی با شکل‌پذیری متوسط تا زیاد	OH			
پیت، ماک و سایر خاک‌های آلی	Pt	خاک‌های آلی		



شکل ۴-۲ : نظام یکنواخت طبقه‌بندی. توجه کنید که این نظام مواد خاکی (نه خاک‌های طبیعی) را طبقه‌بندی می‌کند دو حرف معرف (SW, MH و غیره) به مهندسين کمک می‌کند که رفتار خاک را هنگامی که برای کارهای ساختمانی به کار می‌رود، برآورد کنند. حرف اول یکی از مواد G سنگریزه، S شن، M لای، C رس و O مواد غنی از ماده‌ی آلی بوده، و حرف دوم مشخص می‌سازد که آیا شن و سنگریزه دارای دانه‌بندی خوب (W) و یا ضعیف (P) هستند، و یا لای و رس و مواد آلی دارای نمایه شکل‌پذیری بالا (H) و یا پایین (L) می‌باشند. درمواد دانه‌ریز، آن‌هایی که نزدیک‌تر به بالای جدول هستند برای ساختمان و جاده تناسب بهتری دارند.

۱۰-۴ نتیجه‌گیری

خصوصیات فیزیکی اثر بارزی بر رفتار خاک‌ها در ارتباط با رشد گیاه، آشناسی، مدیریت محیط زیست و استفاده‌های مهندسی دارد. سرشت و خصوصیات ذرات انفرادی، توزیع اندازه‌ی آن‌ها و طرز قرارگرفتن آن‌ها در خاک، حجم کل فضای ذرات غیرجامد، و همین‌طور اندازه منافذ را مشخص می‌سازد و بنابراین در روابط آب‌وهوا تأثیرگذار است.

ویژگی‌های ذرات انفرادی و توزیع نسبی آن‌ها (بافت خاک) در خاک‌های صحرایی کمتر تحت دخالت انسان است اگر چه می‌توان مقداری مدیریت بر روی طرز تنظیم این ذرات به‌شکل خاکدانه‌ها (ساختمان خاک) و پایداری خاکدانه‌ها اعمال کرد. عملیات خاک‌ورزی و حمل‌ونقل باید برای اجتناب از ایجاد خسارت در شخم‌آبی به‌خصوص در هنگامی که خاک نسبتاً خیس است به‌دقت تنظیم گردد. معمولاً طبیعت مواظبت خوبی از ساختمان خاک به‌عمل آورده و انسان‌ها با مطالعه‌ی سامانه‌های طبیعی بیشتر می‌توانند درمورد مدیریت خاک بیاموزند. رشد قوی و تنوع نبات، برگشت پس‌مانده‌های گیاهی و حداقل به‌هم‌خوردن فیزیکی از برکات نظام‌های طبیعی هستند که ارزش هم‌چشمی و رقابت را دارند. انتخاب گونه‌های مناسب نباتات، تناوب گیاهان و مدیریت عوامل شیمیایی، فیزیکی و زیستی حفظ کیفیت فیزیکی خاک را تضمین می‌کند. در سال‌های اخیر این اهداف مدیریتی با ابداع نظام‌های خاک‌ورزی حفاظتی که دستکاری خاک را در عین کاهش فرسایش و رواناب به‌حداقل می‌رساند، عملی شده است.

اندازه‌ی ذرات، میزان رطوبت و شکل‌پذیری بخش کلوییدی برای تعیین پایداری خاک در مقابل نیروهای بارگذاری ناشی از حمل و نقل، خاک‌ورزی و یا پی ساختمانی به ما کمک می‌کنند. ویژگی‌های فیزیکی ارائه شده در این فصل تقریباً بر تمام دیگر خصوصیات و موارد استفاده خاک که در سرتاسر کتاب مورد بحث قرار گرفته است بسیار تأثیرگذار است.

سوالات برای مطالعه

- ۱- اگر شما در جستجوی محلی برای توسعه‌ی خانه‌سازی باشید چگونه از رنگ خاک برای برآورد مسایلی که ممکن است با آن مواجه شویم استفاده می‌کنید؟
- ۲- شما در فکر خرید بعضی مزارع در منطقه‌ای با خاک‌های دارای بافت متفاوت می‌باشید. خاک‌ها در روی یک مزرعه عمدتاً لوم شنی و شن لومی بوده درحالی‌که در مزرعه دوم عمدتاً از لوم رسی و رس لومی می‌باشد. مزایا و معایب هرکدام از مزارع را با توجه به بافت خاک آن‌ها نام ببرید.
- ۳- با توجه به جواب شما در پرسش (۲) شرح دهید که چگونه ساختمان در افق‌های خاک سطحی و زیرزمینی می‌تواند عقیده‌ی شما را در مورد ارزش هر مزرعه تغییر دهد؟
- ۴- دو روش برداشت جنگل در کرت‌های هم‌جوار جنگلی با خاک لوم رسی سطحی مورد آزمون قرار گرفته است، وزن مخصوص ظاهری اولیه در هر دو کرت ۱/۱ مگاگرم در مترمکعب بوده است. یک سال بعد از عملیات برداشت، خاک کرت A دارای وزن مخصوص ظاهری ۱/۴۸ مگاگرم در مترمکعب است درصورتی‌که در کرت B ۱/۲۹ مگاگرم در مترمکعب است این دو رقم را در ارتباط با ارزش دو نظام A و B و اثرات احتمالی بر روی نقش خاک در نظام جنگل تفسیر کنند.
- ۵- کلاس بافت دو خاک که یکی دارای ۱۵٪ رس و ۴۵٪ سیلت و دیگری دارای ۸۰٪ رس و ۱۰٪ رس است چه می‌باشد؟ از شکل ۸-۴ استفاده کنید.
- ۶- برای کرت جنگلی در پرسش شماره ۴ تغییر در درصد منافذ خاک‌های سطحی در اثر برداشت الوار چقدر می‌باشد، آیا انتظار دارید که بیشترین تغییر در منافذ درشت باشد و یا ریز؟ توضیح دهید.
- ۷- اثرات مثبت و منفی خاک‌ورزی را بر ساختمان خاک تشریح کنید. ملاحظات فیزیکی دیگری که باید در تصمیم‌گیری برای تغییر خاک‌ورزی معمول به خاک‌ورزی حفاظتی مورد نظر قرار دهید چه می‌باشد؟
- ۸- شما به‌عنوان یک باغبان سه عامل را در مدیریت ساختمان خاک باغچه خود بهترین و بدترین می‌دانید را نام ببرید.
- ۹- آزمایش پروکتور چه چیزی از خاک را به مهندس خاک می‌گوید، چرا این اطلاعات مهم می‌باشد؟
- ۱۰- در یک منطقه مرطوب که دارای خاک‌های منبسط شونده است، صاحب منزل با شکستن لوله‌های آب، بسته‌شدن درب‌ها و ترک‌های عریض قایم در آجر دیوارها مواجه است، منزل در مدت ۲۰ سال با مسئله‌ای مواجه نشده است. متخصص خاک‌شناسی مورد مشورت مسئله را مربوط به کشت درخت بزرگی در نزدیک منزل در ۱۰ سال گذشته می‌داند. توضیح دهید.

وقت: مینی بخاوند، باران را با هر سرعتی
جذب کند.

H.D.Thoreau

فصل پنجم

آب خاک، ویژگی‌ها و رفتار

آب از اجزای حیاتی هر موجود زنده است، گرچه آب یکی از ساده‌ترین مواد شیمیایی طبیعت به‌شمار می‌رود، دارای خصوصیات منحصر به فرد است که موجب انجام انواع فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی گوناگون می‌شود. این فرایندها تأثیر بزرگی تقریباً در هر جنبه‌ی تکامل و رفتار خاک، از هوادیدگی کانی‌ها تا تجزیه‌ی ماده‌ی آلی و از رشد گیاهان تا آلودگی آب زیرزمینی خواهد داشت. ما همگی با آب آشنا هستیم. از آن می‌نوشیم، در آن شنا می‌کنم و کشت‌های خود را با آن آبیاری می‌کنیم. اما آب در خاک چیزی کاملاً متفاوت از آب آشامیدنی در یک لیوان است. در خاک، آب در ارتباط نزدیک با ذرات جامد، به‌خصوص در اندازه کلوییدی می‌باشد تعامل بین آب و ذرات جامد خاک رفتار هر دو را عوض می‌کند.

آب سبب می‌شود که ذرات خاک انبساط و انقباض یافته، به‌همدیگر بچسبند و خاکدانه‌های ساختمانی را تشکیل دهند. آب در واکنش‌های شیمیایی بی‌شماری شرکت می‌کند که سبب آزاد و یا محبوس شدن عناصر غذایی، ایجاد اسیدیت، تخریب کانی‌ها شده به‌طوری‌که عناصر آن‌ها نهایتاً سبب شور شدن آب اقیانوس‌ها می‌شود.

کشش سطوح جامدات حرکت آزاد مولکول‌های آب را محدود کرده و سبب می‌گردد آب به‌جای مایع بسیار شبیه مواد جامد رفتار کند. در خاک، آب می‌تواند به‌خوبی به‌طرف بالا و یا پایین حرکت کند. گیاهان ممکن است در خاکی که دارای یک میلیون کیلوگرم آب در هکتار باشد پژمرده شده و بمیرند. یک لایه شن و سنگریزه در خاکریز ممکن است از زه‌کشی سبب گردد لایه‌های بالایی در اکثر طول سال خیس و اشباع بماند. به‌نظر می‌رسد این موارد و دیگر پدیده‌های آب خاک با بصیرت ما درباره‌ی چندوچون رفتار آب در تعارض باشد.

تعامل خاک و آب در بسیاری از رفتارهای بوم‌شناختی خاک، و عملیات مدیریت آن تأثیرگذار است. این تعامل مشخص می‌کند که چه مقدار آب باران وارد خاک شده و از داخل آن عبور کرده، و چه مقدار به‌صورت رواناب در سطح جاری می‌شود. تنظیم این فرایندها به‌نوبه‌ی خود حرکت مواد شیمیایی را به آب زیرزمینی و حرکت مواد شیمیایی و ذرات خاک فرسایش یافته را به دریاچه‌ها و رودخانه‌ها مشخص می‌کند. تعاملات در میزان هدررفت آب از طریق آبشویی و تبخیر و تعرق، تعادل بین آب‌وهوا در منافذ، اندازه تغییر دما میزان و نوع سوخت‌وساز جانداران خاک و ظرفیت خاک برای ذخیره و فراهم کردن آب جهت رشد نبات مؤثر می‌باشد.

ویژگی‌ها و رفتار آب در خاک رشته‌ای است که تقریباً هر فصل از این کتاب را با همدیگر مرتبط می‌کند. اصولی که در این فصل موجودند به‌ما کمک می‌کنند که درک کنیم چرا لغزش گسل در خاک‌های اشباع از آب صورت می‌گیرد. (فصل ۴)، چرا کرم‌های خاکی سبب بهبود کیفیت خاک می‌شوند (فصل ۱۱)، چرا شالیزارها سبب تخلیه اُزن نیوار خواهد شد (فصل ۱۳)، و چرا قطعی در بخش‌های خاصی از جهان هنوز مخفیانه بشر را دنبال می‌کند. (فصل ۲) تبحر در اصول بیان شده این فصل برای کسب دانش عملی در مورد نظام خاک اساسی می‌باشد.

۱-۵ ساختار و خصوصیات مرتبط با آب

توانایی آب در تأثیر بر بسیاری از فرایندهای خاک، عمدتاً به‌وسیله‌ی ساختار مولکول آب تعیین می‌شود. این ساختار همچنین پاسخگوی این واقعیت است که آب در دمای موجود در کره‌ی زمین یک مایع است و یک گاز نیست، آب به‌استثنای جیوه تنها مایع معدنی (ناشی از کرین نیست) موجود بر روی کره‌ی زمین است. آب یک ترکیب ساده است که مولکول آن از یک اتم اکسیژن و دو اتم بسیار کوچک هیدروژن تشکیل شده است. این عناصر با پیوند کووالانس با هم پیوند یافته‌اند؛ هر اتم هیدروژن تنها الکترون خود را با اتم اکسیژن به‌اشتراک گذاشته است.

قطبی بودن

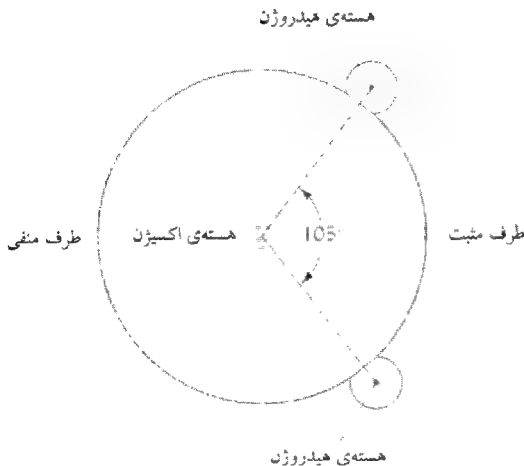
طرز قرار گرفتن سه اتم در مولکول آب برخلاف انتظار متقارن نیست. به‌جای این که اتم‌ها به‌صورت خطی ($H-O-H$) قرار گرفته باشند، اتم‌های هیدروژن به‌صورت شکل عدد ۸ به اتم اکسیژن متصل شده و زاویه ۱۰۵ درجه را تشکیل می‌دهند. همان‌طور که در شکل ۱-۵ نشان

داده شده است این آرایش سبب ایجاد مولکول غیرمتقارن با تمایل بیشتر الکترون‌های مشترک به اتم اکسیژن شده است. درنتیجه، مولکول آب دارای خاصیت قطبی می‌باشد که در آن بار به‌طور یکنواخت توزیع نیافته است. در طرفی که اتم‌های هیدروژن قرار گرفته‌اند آب تمایل دارد که بار مثبت^۱ و سمت مخالف بار منفی^۲ داشته باشد و این واقعیت که آب از مولکول‌های قطبی تشکیل شده است دلیل بسیاری از خصوصیات است که امکان می‌دهد آب نقش منحصر به فرد در محیط خاک داشته باشد.

ویژگی قطبی بودن کمک می‌کند که بتوانیم چگونگی تعامل مولکول‌های آب را بر همدیگر تشریح کنیم. هر مولکول آب به‌طور کاملاً مستقل عمل نمی‌کند، بلکه به مولکول‌های هم‌جوار متصل می‌باشد. طرف هیدروژن‌دار (مثبت) یک مولکول آب سبب جذب طرف اکسیژن‌دار (منفی) مولکول دیگر شده و سبب ایجاد یک گروه زنجیره (پلی‌مر)^۳ می‌شوند. به‌خاطر خوشه ای بودن مولکول‌های آن، آب دارای نقطه جوش بالاتر از سایر محلول‌ها با وزن مولکولی مشابه پایین (مانند متیل الکل) می‌باشد.

قطبی بودن همچنین تشریح می‌کند که چرا مولکول‌های آب به‌وسیله یون‌های دارای بار الکتریسته ساکن و سطوح کلوییدی جذب می‌شوند کاتیون‌های نظیر Ca^{2+}, K^+, Na^+, H^+ با جذب در طرف اکسیژن‌دار مولکول آب (منفی) هیدراته می‌شوند. به‌همین ترتیب، سطوح رسی دارای بار منفی آب را از طرف هیدروژن‌دار (مثبت) مولکول آب جذب خود می‌کنند. قطبی بودن مولکول‌های آب سبب حل شدن نمک‌ها در آب می‌شود. زیرا ترکیبات یونی نمک تمایل بیشتری برای جذب آب تا جذب همدیگر را دارند.

وقتی مولکول‌های آب به یون‌های دارای بار الکتریسته ساکن و یا سطوح رسی جذب می‌شوند، متراکمتر از مولکول آب خالص می‌گردند. در این حالت تراکم، آزادی حرکت آن‌ها محدود گردیده، و سطح انرژی آن‌ها از آب خالص کمتر است. بنابراین، وقتی یون‌ها و یا سطوح رسی هیدراته می‌شوند باید انرژی آزاد گردد. این انرژی آزاد شده هنگام آگیری یون^۴، به گرمای انحلال^۵ و در هنگام مرطوب شدن خاک به گرمای مرطوب شدن^۶ مشهور است. پدیده آخری با قراردادن مقداری رس خشک بافت ریز در کف دست و اضافه کردن چند قطره‌ی آب و احساس افزایش اندکی در دمای خاک می‌تواند به نمایش گذاشته شود.



شکل ۱-۵ نمایش دو بعدی مولکول آب که شامل یک اتم بزرگ اکسیژن و دو اتم کوچک هیدروژن می‌باشد. یک طرف مولکول آب که دو اتم هیدروژن در آن قرار گرفته است از نظر بار مثبت و طرف دیگر آن منفی بوده و این دلیل قطبی بودن آب می‌باشد.

پیوند هیدروژنی

بر اثر پدیده‌ای به نام پیوند هیدروژنی یک اتم هیدروژن ممکن است بین دو اتم دارای بار منفی مانند O و N به‌وسیله‌ی یک اتصال با انرژی نسبتاً کم به شرکت گذاشته شود. به‌خاطر بار منفی زیاد اتم اکسیژن، یک مولکول آب سبب جذب یک اتم هیدروژن از مولکول آب مجاور می‌شود و این نوع پیوند علت تشکیل زنجیره در آب می‌باشد. پیوند هیدروژن مسؤول نقطه‌ی جوش، گرمای ویژه و گرانروی نسبتاً بالای آب در مقایسه با سایر ترکیبات حاوی هیدروژن مانند H_2S که فاقد پیوند هیدروژنه و دارای وزن مولکولی بالاتر است، می‌باشد. پیوند هیدروژنی همچنین مسؤول پایداری ساختمانی بعضی از بلورهای رسی، و ساختمان بعضی از ترکیبات الی مانند پروتئین‌ها می‌باشد.

¹ - Electropositive

² - Electronegative

³ - Polymer

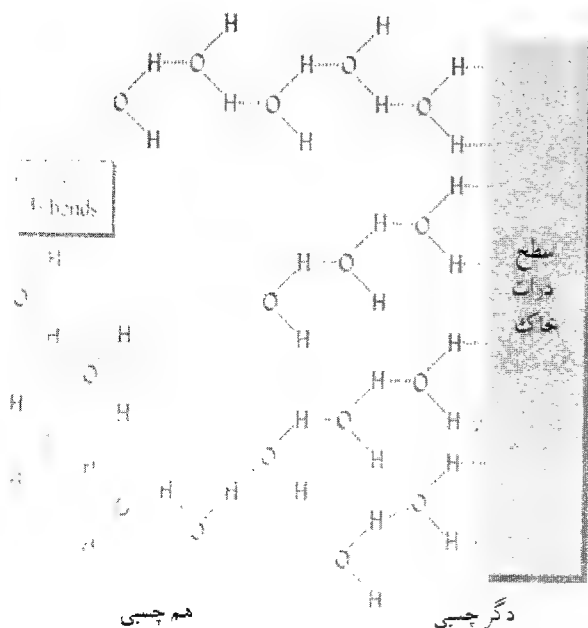
⁴ - Hydration

⁵ - Heat Of Solution

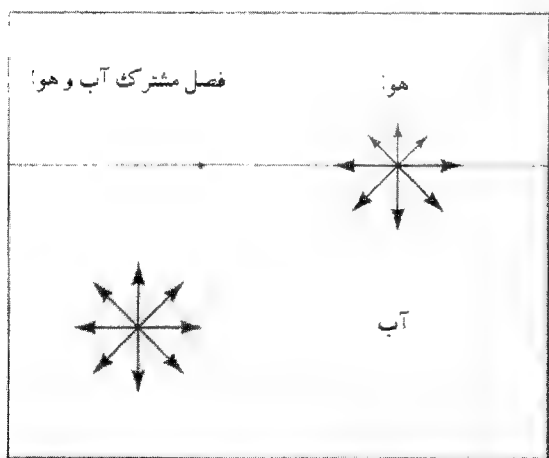
⁶ - Heat Of Wetting

هم‌دوسی (هم‌چسبی)^۱ در مقایسه با دگردوسی^۲ (دگرچسبی)

پیوند هیدروژنی علت دو نیروی اساسی مؤثر در نگهداری و حرکت آب در خاک‌ها می‌باشد. تمایل مولکول‌های آب برای پیوستن به‌همدیگر هم‌دوسی، و تمایل آن‌ها برای جذب بر روی سطوح جامدات دگردوسی می‌باشد. در اثر دگردوسی، که به آن جذب نیز گفته می‌شود. بعضی از مولکول‌های آب محکم به سطوح جامدات می‌چسبند، این مولکول‌های در پیوند محکم با سطوح جامد به‌نوبه‌ی خود به‌وسیله‌ی هم‌چسبی به سایر مولکول‌های آب دورتر از سطح جامد اتصال می‌یابند (شکل ۲-۵). دو نیروی هم‌چسبی و دگرچسبی با هم امکان نگهداری آب به‌وسیله‌ی مواد جامد خاک و کنترل حرکت و مصرف آن را فراهم خواهند کرد. هم‌چسبی و دگرچسبی سبب بروز خصوصیت شکل‌پذیری به‌وسیله‌ی رس می‌شوند. (بخش ۹-۴ را مشاهده کند).



شکل ۲-۵ نیروهای هم‌چسبی (بین مولکول‌های آب) و دگرچسبی (بین آب و سطوح جامدات) در یک سامانه آب-خاک. نیروها حاصل پیوند هیدروژنه می‌باشند که به‌وسیله‌ی خطوط بریده نشان داده شده‌اند. نیروهای دگرچسبی و یا جذبی در ارتباط فاصله با سطح جامد به‌سرعت کاهش پیدا می‌کند. هم‌چسبی یک مولکول آب با مولکول دیگر سبب می‌شود که مولکول‌های آب خوشه‌های موقتی تشکیل دهند که به‌طور مداوم اندازه و شکل مولکول‌های آن‌ها با شکسته‌شدن مولکول‌ها آب و یا اتصال آن‌ها تغییر کند. نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های آب همچنین امکان می‌دهد که بخش جامد به‌طور غیرمستقیم آزادی آب را در فاصله‌ی چندی دورتر از فصل مشترک جامد-مایع محدود سازد.



شکل ۳-۵ نیروهای قابل‌مقایسه که بر روی مولکول‌های آب در سطح و زیر سطح آب اثر می‌کنند، نیروهای زیر سطح آب در تمام جهات مساوی می‌باشند، زیرا یک مولکول آب به‌طور یکسان جذب تمام مولکول‌های اطراف شده است. درمقایسه، جذب مولکول‌های آب در سطح به‌وسیله‌ی مولکول‌های هوا به‌مراتب از جذب مولکول‌های آب به‌وسیله‌ی همدیگر کمتر است. درنتیجه یک نیروی پایین‌برنده خالص در سطح آب برای مولکول‌های آب به‌وجود می‌آید که همانند کشش یک غشاء عمل می‌کند. این پدیده کشش سطحی نام دارد.

^۱ - Cohesion

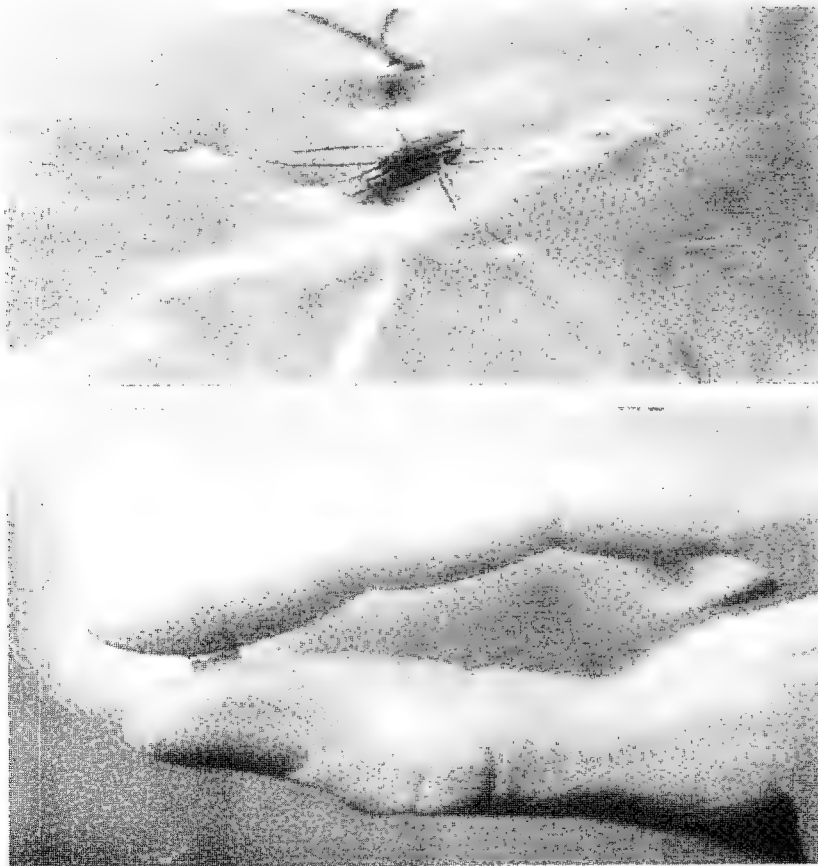
^۲ - Adhesion

کشش سطحی^۱

یکی دیگر از خصوصیات مهم آب که به‌طور آشکار در رفتار خاک‌ها بسیار مؤثر است کشش سطحی می‌باشد. این پدیده معمولاً در فصل مشترک مایع و هوا نمایان بوده و سبب جذب هرچه بیشتر مولکول‌های آب با همدیگر در مقایسه با هوای بالای خود خواهد شد (دگرچسی) (شکل ۳-۵). نتیجه نهایی ایجاد یک نیروی روبه‌داخل در سطح است که سبب می‌شود که آب چنان رفتار کند که انگار سطح آن به‌وسیله یک غشاء ارتجاعی پوشیده شده است، پدیده‌ای که برای آن‌هایی که حشرات را قدم‌زنان بر روی یک استخر آب مشاهده می‌کند بسیار آشنا می‌باشد (شکل ۸-۵). به‌خاطر نیروی جذب نسبتاً بالای مولکول‌های آب به‌همدیگر، آب دارای کشش سطحی بالا ($72/8$ نیوتن در میلی‌متر در 20° درجی سانتی‌گراد) درمقایسه با دیگر محلول‌ها (برای نمونه الکل اتیلیک با $22/4$ نیوتن در میلی‌متر) می‌باشد. همان‌طور که خواهیم دید، کشش سطحی عامل مهمی در پدیده مویینه است که چگونگی حرکت و نگهداری آب را در خاک تعیین می‌کند.

۲-۵ اصول مویینه و آب خاک

حرکت روبه‌بالای آب از یک فیلته پدیده مویینگی را مشخص می‌سازد. مویینه حاصل دو نیرو است. اول نیروی جذب آب به‌وسیله‌ی مولکول‌های جامدات در لوله‌ها و مسیرهای حرکت آن می‌باشد (دگردوسی یا جذب). دوم کشش سطحی آب که عمده‌تأ نتیجه‌ی جذب مولکول‌های آب با همدیگر می‌باشد (هم‌دوسی).



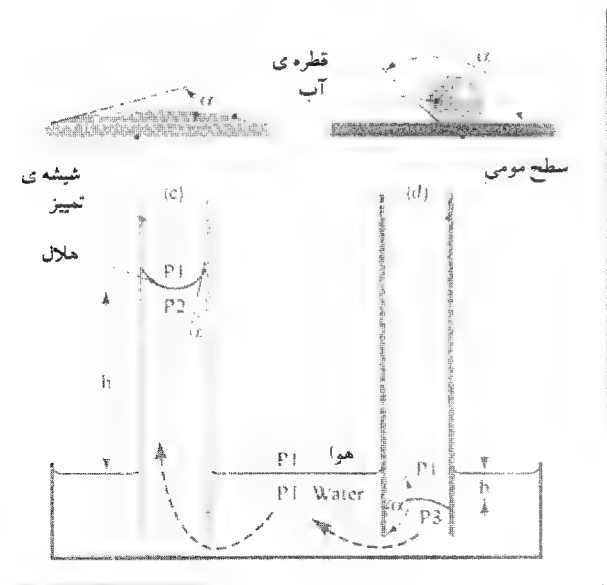
شکل ۴-۵ شواهد روزمره از کشش سطحی آب (شکل بالا) یک حشره در روی آب فرود آمده و غوطه‌ور نمی‌شود به‌دلیل نیروهای هم‌چسبی و دگرچسی. (شکل زیر) یک قطره آب بسین انگشتان نگهداری می‌شود.

سازوکار مویینه

پدیده‌ی مویینه را می‌توان با قراردادن انتهای باز یک لوله شیشه‌ای نازک تمیز در داخل آب به نمایش گذاشت. آب در لوله بالا آمده و هرچه لوله نازک‌تر باشد مقدار بالا آمدن بیشتر است. مولکول‌های آب جذب دو طرف لوله شده (دگرچسی) و در پاسخ به این تمایل جذب درطول لوله شروع به حرکت و بالا رفتن می‌کنند. در همین زمان نیروهای هم‌دوسی سبب نگهداری مولکول‌های آب با همدیگر و ایجاد پدیده

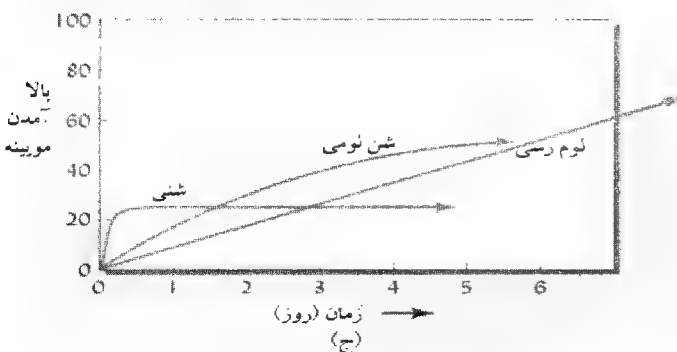
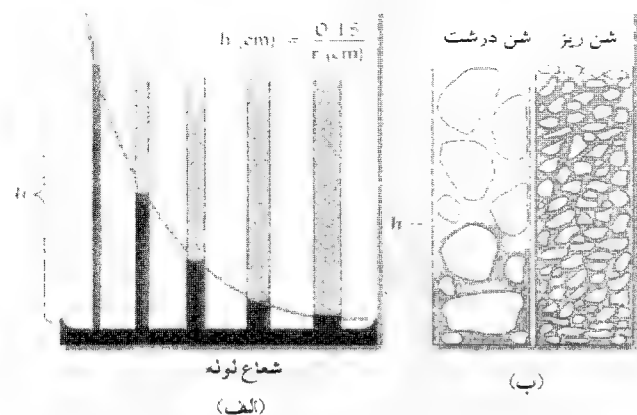
^۱ - Surface Tension

کشش سطحی می شود که یک سطح منحنی (هلال^۱ نامیده می شود) در فصل مشترک آب و هوا در لوله تشکیل می دهد (شکل ۵-۵ ج). فشار کمتر در زیر هلال در لوله (P₂) باعث می شود که فشار بالاتر (P₁) در روی سطح آزاد، آب را در لوله بالا بفرستد. فرایند تا بالا رفتن آب به ارتفاعی که در آن وزن ستون آب درست مساوی اختلاف فشار در اطراف هلال باشد ادامه دارد (برای درک جزئیات به تابلو ۵-۱ مراجعه کنید)



شکل ۵-۵ تعامل آب با یک سطح آب دوست (الف و ج) و یک سطح آب گریز (ب و د) سبب ایجاد یک زاویه تماس خالص (α) می شود. اگر سطح جامد آب را احاطه کند مانند یک لوله، یک سطح منحنی در فصل مشترک آب و هوا به نام هلال در اثر نیروهای هم چسبی و دگر چسبی ایجاد می شود. وقتی آب و هوا در یک سطح هلالی با همدیگر برخورد می کنند فشار در قسمت محدب هلال کمتر از قسمت مقعر آن است. (ج) صعود مویینه در یک لوله آب دوست باریک (مثلاً شیشه) به علت کمتری بودن فشار در زیر هلال (P₂) از فشار در سطح آزاد آب (P₁) صورت می گیرد. (ه) نزول مویینه وقتی لوله آب گریز باشد و هلال برعکس باشد اتفاق می افتد.

جریان غیر اشباع پراثر مویینه



شکل ۵-۶ حرکت روبه بالای مویینه در داخل لوله ها با قطرهای مختلف و خاک ها با اندازه ی منافذ متفاوت. (الف) معادله مویینه را می توان ترسیم کرد تا نشان دهد وقتی شعاع داخلی لوله نصف شود ارتفاع صعود ۲ برابر خواهد شد. همان معادله را با استفاده از لوله های شیشه ای با قطرهای مختلف می توان به نمایش گذاشت. (ب) همان اصول نیز اندازه منافذ را در یک خاک به ارتفاع صعود مرتبط می کند اما ارتفاع صعود در یک خاک به خاطر شکل اعوجاج و اندازه ی متفاوت منافذ خاک (و همین طور به خاطر حفره های محبوس هوا) نا منظم و پرنوسان می باشد. (ج) هرچه بافت خاک ریز تر باشد قطر متوسط منافذ کوچک تر بوده و بنابراین ارتفاع نهایی صعود مویینه آب بر روی سطح ایستایی بالاتر خواهد بود. هرچند به دلیل نیروهای اصطکاکی بسیار بیشتر در منافذ ریزتر، صعود مویینه در خاک های بافت ریز در مقایسه با شن بسیار کندتر می باشد

ارتفاع صعود در یک لوله مویینه به‌طور عکس با شعاع لوله (r) و چگالی حجمی مایع و به‌طور مستقیم با کشش سطحی مایع و میزان جذب به سطح خاک (زویه تماس) در ارتباط است. با توجه به خصوصیات آب در یک دمای معین (مثلاً ۲۰ درجه‌ی سانتی‌گراد) این عوامل مجموعاً مقدار ثابتی را تشکیل داده و می‌توان معادله‌ی ساده‌ی مویینه را برای محاسبه ارتفاع صعود h به‌صورت زیر ارائه نمود:

$$h = \frac{0.15}{r}$$

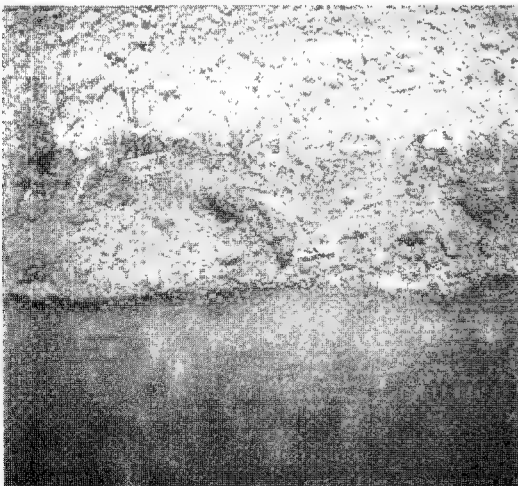
در این رابطه h و r بر حسب سانتی‌متر می‌باشند. معادله بیانگر آن است که هرچه قطر لوله کوچک‌تر باشد نیروی مویینه و بالا آمدن ارتفاع آب در لوله بیشتر است (شکل ۵-۶ الف).

ارتفاع صعود در خاک

نیروی مویینه در تمام خاک‌های مرطوب فعال است. هر چند میزان حرکت و ارتفاع بالا آمدن تنها در رابطه با قطر خلل و فرج، کمتر از مقدار قابل انتظار است. دلیلی که می‌توان ارائه داد این است که منافذ خاک همانند لوله‌های شیشه‌ای مستقیم و یکنواخت نمی‌باشند و به‌علاوه بعضی از منافذ خاک از هوا پر شده‌اند که حرکت آب را بر اثر مویینه کاهش داده و یا آنرا متوقف می‌کند. (شکل ۵-۶ ب)

حرکت روبه بالای آب بر اثر پدیده‌ی مویینه در خاک‌های مختلف در شکل (۵-۶ ج) نشان داده شده است. معمولاً ارتفاع صعود نهایی در نتیجه‌ی مویینه‌گی در خاک‌های بافت ریز بیشتر است، اما سرعت حرکت ممکن است به دلیل وجود نیروهای اصطکاکی در آن‌ها پایین باشد. منافذ درشت در خاک‌های شنی مقاومت اصطکاکی کمتری در مقابل حرکت مویینه سریع آب بروز می‌دهند. هر چند همان‌طور که از معادله‌ی مویینه انتظار می‌رود، هرچه شعاع منافذ بین ذرات شن بزرگ‌تر باشد سبب ارتفاع کمتری برای صعود مویینه خواهد شد.^۱

مویینه به‌طور سنتی به‌عنوان حرکت روبه‌بالا تعریف شده است. اما حرکت در هر سمتی صورت می‌گیرد زیرا نیروی جذب بین منافذ خاک و آب در منافذ افقی نیز همانند منافذ قائم در تشکیل هلال مؤثر است (شکل ۵-۷). اهمیت مویینه در اداردهی حرکت آب در منافذ کوچک در مبحث مفاهیم انرژی آب خاک روشن خواهد شد.



شکل ۵-۷ همان‌طور که این منظره آبیاری در ایالت آریزونا نشان می‌دهد (چپ)، آب بر اثر مویینه از یک جویچه آبیاری به طرف بالای پشته حرکت کرده است. عکس سمت راست نشان‌دهنده مقداری حرکت افقی در هر دو طرف جوی آبیاری می‌باشد.

۳-۵ مفاهیم انرژی آب خاک

نگهداری و حرکت آب در خاک، جذب و جابه‌جایی آن در گیاهان و اتلاف آن در نیوار تماماً پدیده‌های مربوط به انرژی می‌باشند. انواع مختلفی از کارمایه مانند انرژی پتانسیل و انرژی جنبشی وجود دارد. کارمایه جنبشی مطمئناً عامل مهمی در جریان سریع و متلاطم آب در خاک

۱ برای مثال اگر آب بر اثر مویینه به ارتفاع ۳۷ سانتی‌متر در بالای سطح آب آزاد در خاک شنی برسد (در مثال ۵-۶ ج نشان داده شده است). می‌توان برآورد نمود (با تنظیم مجدد معادله مویینه به‌صورت $(r = 0.5/h)$) که کوچک‌ترین منافذ پیوسته باید شعاعی در حد ۰/۰۰۴ سانتیمتر داشته باشند. این محاسبات کمترین شعاع مؤثر منافذ را در خاک به‌طور تقریبی برآورد می‌کند.

یک رودخانه می باشد. اما حرکت آب در داخل خاک چنان آهسته است که جزء انرژی جنبشی معمولاً قابل اِغماض می باشد. انرژی پتانسیل در تعیین وضعیت و حرکت آب خاک مهمترین می باشد. به خاطر سهولت در این کتاب از واژه انرژی به جای انرژی پتانسیل استفاده می کنیم. در بررسی انرژی ما باید به خاطر داشته باشیم که تمام مواد، از جمله آب تمایل دارند که از یک سطح انرژی بالا به سطح انرژی پایین تغییر یافته و یا حرکت کنند. بنابراین اگر، سطح انرژی مربوطه در نقاط مختلف خاک را بدانیم می توانیم مسیر حرکت آب را برآورد کنیم / اختلاف در بین سطوح انرژی در بین دو نقطه مجاور است که در این حرکت آب مؤثر می باشد.

نیروهای مؤثر در انرژی پتانسیل

مباحث ساختمان و خصوصیات آب که در بخش قبل تشریح گردید سه نیروی مهم مؤثر را در سطح انرژی آب خاک مطرح می کند. اول، دگرجسی و یا جذب آب به مواد جامد خاک (ماتریکس) سبب ایجاد نیروی ماتریک (مسئول جذب و موینه گی) می شود که باعث کاهش چشمگیر میزان انرژی آب در نزدیکی سطوح ذرات می گردد. دوم، جذب آب به وسیله ی ی ن ها و سایر مواد حل شدنی است که سبب ایجاد نیروی اسمز و کاهش سطح انرژی آب در محلول خاک می شود. حرکت اسمزی آب خالص از یک غشاء نیمه تراوا به داخل یک محلول (اسمز) بیانگر انرژی پایین آب در محلول می باشد. سومین، عامل عمده که بر روی آب خاک مؤثر است نیروی ثقل است که همیشه سبب کشاندن آب به طرف پایین (مرکز زمین) می شود. سطح انرژی اب خاک در یک ارتفاع به خصوص در خاکرخ از سطح انرژی آب در ارتفاع کمتر بالاتر است این اختلاف در سطح انرژی سبب حرکت روبه پایین می شود.

پتانسیل آب خاک

اختلاف در سطح انرژی آب از یک منطقه و یا از یک حالت (مثلاً در خاک مرطوب) با منطقه و حالت های دیگر (مثلاً در خاک خشک) تعیین کننده ی جهت و میزان حرکت اب در خاک ها و گیاهان می باشد. در یک خاک مرطوب بیشتر آب در منافذ درشت و یا لایه های ضخیم آب در دور ذرات تشکیل شده است. بنابراین، اکثر مولکول های آب در یک خاک خیس خیلی نزدیک سطح ذرات نبوده و بسیار محکم به وسیله ی ذرات جامد خاک (ماتریکس) نگهداری نمی شود. در این شرایط مولکول های آب دارای آزادی حرکت قابل ملاحظه ای می باشند بنابراین، سطح انرژی آن ها نزدیک سطح انرژی مولکول های آب در یک استخر آب خالص در خارج از خاک می باشد، هر چند در خاک خشک تر آب باقی مانده در منافذ کوچک و لایه های نازک آب قرار داشته و بنابراین به وسیله ی ذرات جامد خاک محکم نگهداری شده است. در این صورت مولکول های آب در یک خاک خشک تر دارای آزادی حرکت کمتر می باشند و سطح انرژی آب بسیار پایین تر از سطح انرژی در خاک خیس است. اگر نمونه های خاک خشک و خیس در تماس با یکدیگر قرار گیرند. آب از خاک خیس (سطح انرژی بالاتر) به خاک خشک تر (سطح انرژی پایین تر) حرکت خواهد کرد.

تعیین سطح انرژی مطلق آب خاک مشکل بوده و در بعضی موارد کاری غیرممکن است. خوشبختانه، دانستن سطح انرژی مطلق آب برای قادر بودن به تخمین چگونگی حرکت ان در خاک ها و محیط لازم نیست، مقادیر نسبی انرژی آب تنها چیزی است که مورد نیاز می باشد. وضعیت انرژی آب خاک در یک موقعیت خاص در خاکرخ معمولاً با آب در فشار و دمای استاندارد که تحت تأثیر خاک قرار نداشته و در یک ارتفاع مرجع قرار گرفته است مورد مقایسه قرار می گردد. اختلاف در سطح انرژی بین این آب خالص در حالت استاندارد و آب خاک، پتانسیل آب خاک نامیده می شود (شکل ۸-۵)، واژه پتانسیل همانند واژه فشار بیانگر تفاوت در حالت انرژی است.

اگر تمام مقادیر پتانسیل آب خاک مورد ملاحظه دارای یک نقطه مرجع معمول باشند (وضعیت انرژی آب خالص). اختلاف پتانسیل آب در بین دو نمونه ی خاک در واقع بیانگر اختلاف در سطح انرژی مطلق آن ها است. این بدان معنی است که آب از یک منطقه ی خاک با پتانسیل آب خاک بیشتر به نقطه دیگر با پتانسیل آب خاک کمتر حرکت خواهد کرد. این واقعیت را باید در مورد رفتار آب در خاک همیشه به خاطر داشته باشیم.

پتانسیل آب خاک به خاطر نیروهای متعددی است که هر کدام جزیی از پتانسیل کل آب خاک (Ψ_t) را تشکیل می دهند. این اجزاء ناشی از تفاوت در سطح انرژی حاصل از نیروهای ثقلی، ماتریک، فشار غوطه وری و اسمزی بوده و به ترتیب پتانسیل ثقلی (Ψ_g) و پتانسیل ماتریک (Ψ_m) پتانسیل غوطه وری و پتانسیل اسمزی (Ψ_o) نامیده می شوند. تمام این اجزاء برای تأثیر بر رفتار آب در خاک همزمان عمل می کنند. رابطه ی کلی پتانسیل آب خاک با سطوح انرژی پتانسیل در شکل ۸-۵ نشان داده شده است و می تواند به صورت زیر بیان شود.

$$\Psi_t = \Psi_g + \Psi_m + \Psi_o + \dots$$

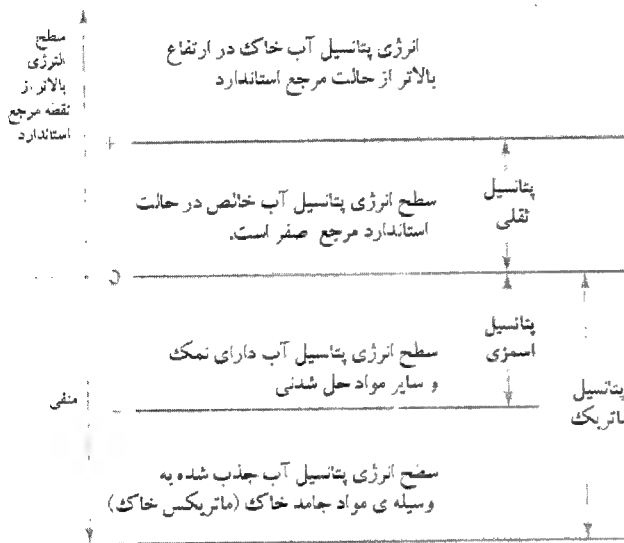
که در آن از قلم افتاده ها (.....) بیانگر نقش پتانسیل های اضافی دیگر است که هنوز به آن ها اشاره نشده است.

پتانسیل ثقلی

نیروی ثقل می‌تواند بر روی آب خاک همانند سایر اجسام دیگر عمل کند (شکل ۹-۵)، جاذبه به طرف مرکز زمین است. پتانسیل ثقلی ψ_g آب خاک ممکن است با عبارت ریاضی به صورت زیر نوشته شود.

$$\psi_g = gh$$

که در آن g شتاب ثقل h ارتفاع آب خاک در بالای یک سطح مقایسه می‌باشد. سطح مقایسه معمولاً در داخل خاکریز و یا سرز پایین‌ترین افق آن انتخاب می‌شود تا مطمئن باشیم پتانسیل ثقلی آب خاک در بالای نقطه مرجع همیشه مثبت است. به دنبال بارندگی سنگین و آبیاری، ثقل نقش مهمی در خارج کردن آب اضافی از افق‌های فوقانی خاک و تغذیه‌ی آب زیرزمینی در زیر خاکریز ایفا می‌کند. در هنگام بحث حرکت آب خاک به این مسأله توجه بیشتری معطوف خواهد شد.



شکل ۵-۸ رابطه‌ی بین انرژی پتانسیل آب خالص در یک حالت مرجع استاندارد (فشار، دما و ارتفاع) و پتانسیل آب خاک. اگر آب خاک دارای نمک و سایر مواد حل‌شدنی باشد کشش دو جانبه بین مولکول‌های آب و این مواد شیمیایی انرژی پتانسیل آب خاک را کاهش می‌دهد و میزان کاهش، پتانسیل اسمزی نامیده می‌شود، همین‌طور کشش دو جانبه بین ذرات جامد خاک (ماتریکس خاک) و مولکول‌های آب خاک انرژی پتانسیل آب خاک را کاهش می‌دهد. در این صورت کاهش پتانسیل ماتریکس گفته می‌شود. از آن‌جا که تعامل این دو انرژی، انرژی پتانسیل آب را نسبت به آب خالص می‌کاهند، کاهش در سطح انرژی (انرژی اسمزی و انرژی ماتریکس) هردو منفی در نظر گرفته می‌شود. برعکس اختلاف در انرژی به خاطر ثقل (پتانسیل ثقلی) همیشه مثبت است و آن به این خاطر است که ارتفاع مرجع آب خالص عمدتاً در محلی در زیر خاکریز زیر آب خاک انتخاب شده است. ریشه گیاه در تلاش برای خارج کردن آب از یک خاک مرطوب باید بر این سه نیرو همزمان غلبه کند.



شکل ۵-۹ چه با پتانسیل ماتریکس چه پتانسیل اسمزی و یا پتانسیل ثقل سروکار داشته باشیم (همان‌طور که در شکل نشان داده شده است) آب همیشه به طرفی حرکت می‌کند که انرژی آن کاهش یابد. در این صورت انرژی از بین رفته به وسیله‌ی آب برای گرداندن چرخ آبی آسپاب برای آوردن دانه‌ها به کار رفته است.

تابلو ۱-۵ سازوکار مویینه

عمل مویینه ناشی از نیروهای توام دگرچسبی و هم چسبی می باشد. همان طور که هنگام قراردادن یک قطره آب بر روی یک سطح جامد مشاهده می شود. مواد جامد که دارای سطوح الکتریسته منفی هستند (برای نمونه به خاطر اکسیژن های آرایش چهار وجهی سیلیس در کانی کوآرتز و یا شیشه) با شدت طرف هیدروژن دار مولکول آب را که الکتریسته مثبت است جذب می کنند. به این مواد هیدروفیلیک (آب دوست) گفته می شود، زیرا کشش مولکول های آب برای مواد جامد (دگرچسبی) بسیار از نیروی جذب مولکول ها روی یکدیگر (هم چسبی) بیشتر است. دگرچسبی باعث می شود که یک قطره آب که بر روی مواد جامد آب دوست، مانند شیشه نیز قرار داده شود در سطح شیشه پخش شود و زاویه تمایل حاده ($90^\circ <$) در فصل مشترک آب و هوا و سطح جامد به وجود آید (شکل ۵-۵ الف را مشاهده کنید). این زاویه تماس ویژگی شاخص یک زوج مایع و جامد (برای نمونه شیشه و آب) می باشد. هرچه مولکول های آب شدیدتر جذب سطوح جامد شده باشند زاویه تماس به صفر نزدیک تر است.

برعکس، مولکول های آب در صورت قرار گرفتن بر روی سطوح آب گریز (متفر از آب) به صورت یک کره در آمده و زاویه تماس حاصل متفرجه ($90^\circ >$) می باشد و این بدان معنی است که دگرچسبی در این مورد کمتر از هم چسبی است (شکل ۵-۵ ب را مشاهده کنند) این رابطه، مشخص می سازد که چرا آب در یک اتومبیل تازه جلای روغنی یافته به صورت قطرات در می آید.

حال به جای سطح صاف و قطره آب یک لوله با قطر اندک را که در یک طشت آب فرو رفته باشد مورد ملاحظه قرار دهید. دگرچسبی مجدداً باعث می شود که آب بر روی سطح شیشه پخش شود و همان زاویه ی تماس (α) را با سطح شیشه همانند قطره ی آب تشکیل دهد. در همان زمان هم چسبی در بین مولکول های آب سبب بروز کشش سطحی و ایجاد سطح منحنی (که هلال نامیده می شود) در فصل مشترک آب و هوا در لوله گردد (شکل ۵-۵ ج را مشاهده کنید). اگر زاویه تماس حدود صفر باشد خمش هلال تقریباً یک نیم کره را تشکیل خواهد داد.

فصل مشترک هلالی (به جای فصل مشترک مسطح) بین آب و هوا سبب می شود که فشار طرف محدب (P_2 در شکل ۵-۵ ج) کمتر از فشار در قسمت مقعر هلال باشد. فشار معمول نیوار P_1 بر روی هلال و سطح آب آزاد طشت یکسان است و از آن جا که فشار زیر هلال کمتر از فشار در سطح آب آزاد طشت می باشد، آب از لوله مویینه بالا رانده می شود. آب در لوله تا رسیدن هلال به ارتفاع h که در آن وزن ستون آب در لوله با اختلاف فشار $P_2 - P_1$ متعادل می شود بالا خواهد رفت. در این شرایط نیروهای که آب را در لوله بالا می برند با نیروهای که آنرا به طرف پایین می کشانند درست متعادل می شوند. نیروهای بالا برنده به وسیله حاصل ضرب کشش سطحی T در طول تماس لوله و هلال (پیرامون لوله $2\pi r$) و جزء فوقانی این نیرو $(\cos \alpha)$ تعیین می شوند.

نیروهای پایین کشاننده به وسیله حاصل ضرب چگالی آب (d) در حجم آب در بالای سطح آب آزاد ($h \pi r^2$) و شتاب ثقل (g) تعیین می شوند با توقف صعود مویینه می توانیم دو طرف را مساوی سازیم.

$$(d \cdot h \pi r^2 g) = (T \cdot 2\pi r \cos \alpha) \quad \text{نیروهای بالا برنده}$$

توجه کنید اگر شعاع لوله نصف شود ($r \rightarrow r/2$)، نیروی بالا برنده نصف و نیروی پایین کشاننده $1/4$ خواهد شد بنابراین ارتفاع صعود آب هنگام تعادل نیروها ۲ برابر خواهد شد. دلیل بیشتر بودن بالا آمدن مویینه در لوله های باریک تر همین است. معادله ای که نیروهای بالا برنده و پایین کشاننده را متعادل می سازد می تواند به طور جبری مجدداً منظم گردیده و معادله ای که ارتفاع مویینه را به دست می دهد مطابق زیر حاصل می شود.

$$h = \frac{2T \cos \alpha}{r d g}$$

اکثر واکنش های متقابل آب با جامدات از نوع آب دوست بوده که در شکل ۵-۵ الف و ج نشان داده شده است. جاذبه بین آب و سطوح ذرات جامد معمولاً چنان شدید است که زاویه تماس بسیار نزدیک صفر بوده و کسینوس آن مساوی یک می باشد. بنابراین در این شرایط از کسینوس زاویه $(\cos \alpha)$ می توان صرف نظر کرد. سه عامل دیگر که در بالا آمدن مویینه مؤثر هستند (T, d, g) در دمای خاص ثابت بوده و می توان آن ها را به صورت یک ثابت مرکب در آورد بنابراین می توانیم صعود مویینه را به صورت معادله ساده زیر در آوریم.

$$H(\text{cm}) = \frac{0.15 (\text{cm}^2)}{r(\text{cm})}$$

همان طور که انتظار داریم بالا آمدن مویینه فقط وقتی صورت می گیرد که لوله از مواد آب دوست درست شده باشد اگر یک لوله آب گریز (مانند یک سطح چرب) در یک مخزن آب فرو برده شود، هلال به جای مقعر در هوا تحدب پیدا خواهد کرد و موقعیت برعکس خواهد شد و پایین رفتن مویینه صورت خواهد گرفت (شکل ۵-۵ د را مشاهده کنید) این مورد در لایه های دافع آب در خاک رخ مشاهده می شود.

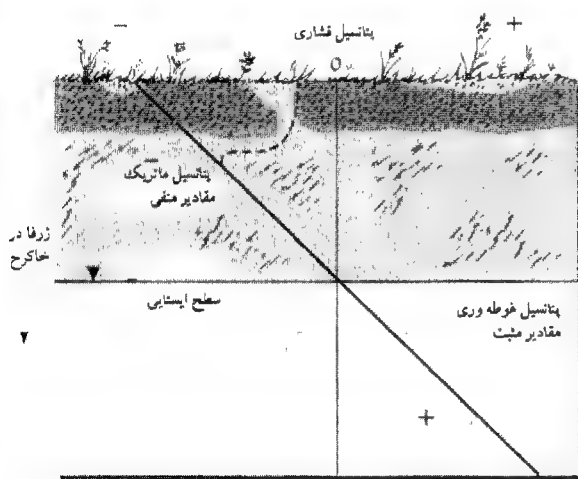
پتانسیل فشاری (شامل پتانسیل غوطه‌وری و پتانسیل ماتریک)

در این پتانسیل تمام عوامل پتانسیل آب خاک به غیر از ثقل و میزان نمک منظور گردیده است این پتانسیل به‌طور بسیار معمول شامل (۱) فشار مثبت آب ساکن ناشی از وزن آب در خاک و آبخوان‌های اشباع، (۲) فشار منفی به‌خاطر نیروهای جاذبه بین آب و ذرات جامد خاک و یا ماتریکس خاک^۱ می‌باشد.

فشار ناشی از آب ساکن سبب ایجاد پتانسیل غوطه‌وری ψ_m جزئی از پتانسیل آب خاک می‌شود که فقط در مناطق اشباع عمل می‌کند. هرکس که تا کف یک استخر شنا شیرجه رفته باشد فشار آب ساکن را بر پیله‌های گوش خود حس کرده است.

جذب آب به سطوح جامد سبب ایجاد پتانسیل ماتریک ψ_m می‌شود که همیشه منفی است، زیرا آب جذب‌شده به‌وسیله‌ی ماتریکس خاک دارای سطح انرژی پایین‌تر از آب خالص می‌باشد. (به این فشار منفی بعضی مواقع مکش یا کشش گفته می‌شود). پتانسیل ماتریک در خاک‌های غیر اشباع در بالای سطح آب زیرزمینی عمل می‌کند. درحالی‌که پتانسیل غوطه‌وری به خاک اشباع و یا در زیر سطح ایستابی اعمال می‌شود (شکل ۱۰-۵).

درحالی‌که هر کدام از این فشارها در شرایط خاص مزرعه معنی‌دار به‌شمار می‌آیند. پتانسیل ماتریک در تمام خاک‌های غیر اشباع مهم می‌باشد، زیرا تعامل همه‌جا حاضری بین ذرات جامد خاک و آب وجود دارد. حرکت آب خاک، قابل استفاده بودن آب برای گیاهان و حل بسیاری از مسایل مهندسی راه و ساختمان تا حد قابل ملاحظه‌ای به‌وسیله‌ی پتانسیل ماتریک مشخص می‌شود. در نتیجه پتانسیل ماتریک همراه با پتانسیل ثقلی و پتانسیل اسمزی در این کتاب مورد توجه خاص قرار خواهد گرفت.



شکل ۱۰-۵ پتانسیل ماتریک و پتانسیل غوطه‌وری هر دو پتانسیل‌های فشاری هستند که در پتانسیل کل آب مؤثر می‌باشند. پتانسیل ماتریک همیشه منفی و پتانسیل غوطه‌وری مثبت است. وقتی آب در خاک غیر اشباع در بالای سطح ایستابی قرار داشته باشد (بالای منطقه‌ی اشباع) در معرض پتانسیل ماتریک می‌باشد. آب در زیر سطح ایستابی در خاک اشباع در معرض پتانسیل غوطه‌وری است. در مثال نشان داده شده، پتانسیل ماتریک به‌طور خطی با ارتفاع در بالای سطح ایستابی کاهش می‌یابد و حاکی از آن است که آب بالا آمده در اثر جذب و مویینه از سطح آب زیرزمینی تنها منبع آب در این خاکرخ می‌باشد. بارندگی و یا آبیاری (خطوط نقطه چین را مشاهده کنید) سبب تغییر و یا انحنای خط مستقیم می‌شود اما روابط اساسی تشریح شده را تغییر نمی‌دهد.

پتانسیل ماتریک ψ_m که از پدیده دگرچسبی (جذب) و مویینه ناشی می‌شود در نگهداری رطوبت خاک و همچنین حرکت آب خاک مؤثر می‌باشد. اختلاف بین ψ_m دو منطقه مجاور خاک سبب انجام حرکت آب از منطقه مرطوب (سطح انرژی بالا) به منطقه خشک (سطح انرژی پایین) و یا از منافذ درشت به منافذ ریز می‌گردد. گرچه این حرکت ممکن است کند باشد، اما به‌ویژه در فراهم کردن آب برای ریشه گیاهان بسیار مهم می‌باشد.

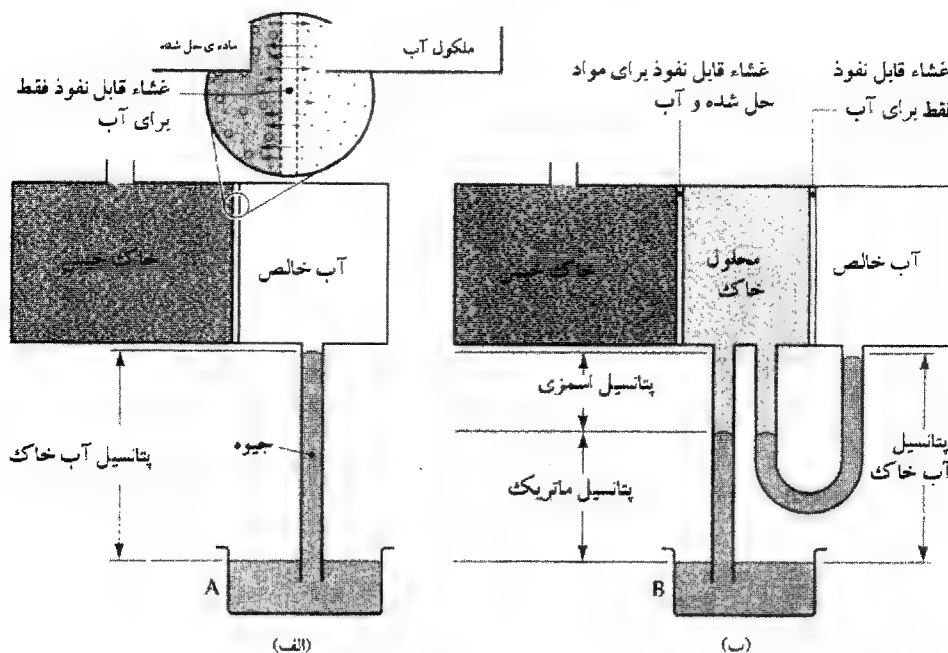
پتانسیل اسمزی

پتانسیل اسمزی (ψ_o) ناشی از حضور مواد حل‌شدنی در محلول خاک می‌باشد. ممکن است مواد حل‌شدنی نمک‌های معدنی و یا ترکیبات آلی باشند، حضور این نمک‌ها عمدتاً به این دلیل که سبب کاهش آزادی حرکت مولکول‌های آب می‌شوند که به‌صورت خوشه اطراف مویینه و یا مولکول حل‌شدنی قرار گرفته‌اند، باعث کاهش انرژی پتانسیل آب خاک می‌شود. هرچه غلظت مواد حل‌شدنی بیشتر باشد اسمز کاهش بیشتری را خواهد داشت. چون همیشه آب تمایل دارد به‌جایی حرکت کند که سطح انرژی آن پایین‌تر باشد در این مورد حرکت به‌سوی منطقه با غلظت مواد حل‌شدنی بیشتر می‌باشد. هرچند آب مایع در عکس‌العمل به اختلاف پتانسیل اسمزی (فرایند اسمز نام

^۱ - علاوه بر نیروهای ماتریک و نیروهای آب ساکن در بعضی موارد وزن خاک مرده فوقانی و فشار هوا همچنین سبب افزایش توان کل آب خاک می‌گردد.

دارد) فقط وقتی حرکت می‌کند که یک غشا نیمه‌تراوا بین مناطق با پتانسیل اسمزی بالا و پایین وجود داشته باشد که امکان عبور آب را فراهم نموده و از حرکت مولکول‌های مواد حل‌شدنی ممانعت کند. اگر غشاء وجود نداشته باشد به جای آب مواد حل‌شدنی برای تعادل غلظت در محلول حرکت خواهند کرد.

از آن‌جاکه که مناطق خاک معمولاً به‌وسیله‌ی غشاء از هم جدا نمی‌باشند پتانسیل اسمزی ψ_s اثر اندکی بر حرکت توده‌ای آب در خاک‌ها دارد. اثر عمده‌ی آن بر روی جذب آب به‌وسیله‌ی یاخته‌های ریشه می‌باشد که به‌وسیله‌ی غشاء یاخته‌ی نیمه‌تراوا از محلول خاک جدا شده‌اند. در خاک‌های دارای نمک‌های حل شده زیاد ψ_s محلول ممکن است کمتر (عدد منفی بزرگ‌تر) از ψ_s یاخته‌های ریشه باشد. این امر سبب ایجاد موانعی در جذب آب به‌وسیله‌ی گیاهان می‌گردد. در خاک‌های خیلی شور ممکن است پتانسیل اسمزی آب خاک چنان پایین باشد که سبب فروپاشی^۱ یاخته‌های گیاهچه‌های جوان با حرکت آب از یاخته‌های ریشه به‌طرف منطقه دارای پتانسیل اسمزی پایین در خاک گردد. حرکت تصادفی مولکول‌های آب سبب فرار تعدادی از آن‌ها از آب مایع و ورود آن‌ها به نیوار و تشکیل بخار آب گردد. از آن‌جاکه حضور مواد حل‌شدنی حرکت مولکول‌های آب را محدود می‌کند با افزایش غلظت مواد حل‌شدنی مولکول‌های آب اندکی به نیوار قرار خواهند کرد. بنابراین، فشار بخار آب در هوای بالای یک آب شور کمتر از فشار بخار آب در هوای بالای آب خالص می‌باشد. با تأثیر بر فشار بخار آب، ψ_s در حرکت بخار آب در خاک مؤثر است (بخش ۷-۵ را مشاهده کنند) فرایند اسمزی و رابطه بین پتانسیل ماتریک و پتانسیل اسمزی از پتانسیل کل آب خاک در شکل ۱۱-۵ نشان داده شده است.



شکل ۱۱-۵ رابطه بین پتانسیل اسمزی، ماتریک و پتانسیل ترکیبی آب خاک. (سمت چپ) یک ظرف حاوی خاک در نظر بگیرید که به‌وسیله‌ی یک پرده‌ی تراوا فقط نسبت به آب از ظرف محتوی آب خالص جدا شده است (به عکس جایگذاری شده که نشان‌دهنده، اسمزی از غشاء است توجه کنید) آب خالص با یک لوله به پشت جیوه وصل است (شکل الف) آب خالص در پاسخ به نیروهای ماتریک که سبب جذب آب به‌وسیله‌ی مواد جامد خاک (ماتریکس) و نیروهای اسمزی که سبب جذب آب به‌وسیله‌ی مواد حل‌شدنی است به داخل ظرف محتوی خاک حرکت می‌کند. در مرحله‌ی تعادل، ارتفاع ستون جیوه در بالای پشت جیوه (الف) معیاری از پتانسیل مرکب آب خاک است (ماتریک و اسمزی). (سمت راست) با فرض قرارگرفتن ظرف دیگری در بین خاک مرطوب و آب خالص که به‌وسیله‌ی یک پرده‌ی تراوا نسبت به آب و مواد حل‌شدنی از طرف خاک جدا گردیده است، این‌ها از خاک به‌داخل این ظرف حرکت کرده و غلظتی که در تعادل با غلظت محلول خاک است ایجاد خواهند کرد. تفاوت بین انرژی آزاد آب خالص و این محلول خاک استاندارد برای پتانسیل اسمزی ψ_s می‌باشد. پتانسیل ماتریک ψ_m که به‌وسیله‌ی ارتفاع ستون جیوه، در بالای پشت جیوه (ب) اندازه‌گیری می‌شود تفاوت بین پتانسیل مرکب و پتانسیل اسمزی می‌باشد. پتانسیل ثقلی که در این دیاگرام نشان داده نشده است برای تمام ظرف‌ها یکسان بوده و تأثیری در نتیجه ندارد زیرا حرکت افقی می‌باشد.

روش‌های بیان سطوح انرژی

واحدهای مختلفی می‌توانند برای تشریح اختلافات در سطوح انرژی آب خاک مورد استفاده قرار گیرد. یک روش بر حسب ارتفاع ستون آب (معمولاً بر حسب سانتی‌متر) است که وزن آب دقیقاً مساوی پتانسیل مورد نظر می‌باشد. ما قبلاً این روش تشریح پتانسیل را در مبحث مویینه مورد توجه قرار داریم زیرا h در معادله مویینه پتانسیل ماتریک آب را در منافذ مویینه بر حسب سانتی‌متر برای ما مشخص می‌سازد. واحد دوم فشار استاندارد نیوار در کنار دریا می‌باشد که معادل ۷۶۰ میلی‌متر جیوه و یا ۱۰۲۰ سانتی‌متر آب می‌باشد. واحدی به نام بار^۱ تقریباً مساوی فشار استاندارد نیوار می‌باشد. ممکن است انرژی در واحد جرم (ژول در کیلوگرم) و یا واحد حجم (نیوتون مترمربع) بیان گردد. در نظام بین‌المللی واحدها (SI) یک پاسکال (pa) معادل فشار یک نیوتون (N) در سطح یک مترمربع است. در این کتاب از واحد پاسکال یا کیلوپاسکال (KPA) برای بیان پتانسیل آب خاک استفاده می‌کنیم. از آن‌جاکه سایر نشریات ممکن است از سایر واحدها استفاده کنند، جدول ۵-۱ برای نشان دادن برابری بین روش‌های بیان پتانسیل آب خاک ارائه شده است.

۴-۵ میزان رطوبت خاک و پتانسیل آب خاک

در مباحث قبل مطرح گردید که یک رابطه‌ی عکس بین میزان آب خاک و تمایل لازم برای نگهداری آن در خاک وجود دارد. آب دارای آمادگی بیشتری برای خارج شدن از خاک مرطوب در مقایسه با خاک دارای رطوبت کمتر می‌باشد. بسیاری از عوامل در رابطه‌ی بین پتانسیل آب خاک ψ و میزان رطوبت خاک θ موثر می‌باشند مثال‌های چندی این نکته را تشریح می‌کنند.

رطوبت خاک و منحنی‌های انرژی

رابطه بین پتانسیل آب خاک ψ و میزان رطوبت θ سه خاک با بافت‌ها مختلف در شکل ۱۲-۵ نشان داده شده است این منحنی‌ها بعضی مواقع تحت عنوان منحنی‌های مشخصه آزادسازی آب^۲ و یا به‌طور ساده‌تر منحنی‌های مشخصه آب نامیده می‌شوند. فقدان شکستگی‌های شدید در منحنی‌ها دلالت بر تغییرات تدریجی پتانسیل آب خاک در رابطه با میزان رطوبت و بالعکس دارد. خاک رسی در پتانسیل به‌خصوص مقدار بیشتری آب در مقایسه با خاک شنی و یا لومی نگهداری می‌کند. همین‌طور در میزان رطوبت به‌خصوص در خاک رس آب با شدت بیشتری در مقایسه با دو خاک دیگر نگهداری می‌شود (توجه داشته باشید که پتانسیل آب دو خاک در مقیاس لگاریتمی ترسیم شده است). میزان رس در یک خاک تا حد زیادی تعیین‌کننده‌ی نسبت ریز منافذ^۳ بسیار کوچک در آن خاک می‌باشد. همان‌طور که خواهیم دید، حدود نصف آب نگهداری شده به‌وسیله‌ی خاک‌های رسی چنان در این ریز منافذ به‌شدت نگهداری می‌شوند به‌وسیله‌ی گیاهان در حال رشد نمی‌توانند آن‌را خارج شوند. بافت خاک به‌طور آشکار تأثیر عمده‌ای بر نگهداری رطوبت خاک اعمال می‌کند.

ساختمان خاک نیز در روابط میزان آب و انرژی تأثیرگذار است. یک خاک با ساختمان خاکدانه‌ای مناسب دارای حجم کل منافذ بیشتر و ظرفیت کل نگهداری آب بیشتری در مقایسه با خاک دارای ساختمان خاکدانه‌ای ضعیف و یا خاک متراکم می‌باشد. حجم کل منافذ خاک بیشتر بیانگر ظرفیت کل نگهداری آب بیشتر می‌باشد. به‌علاوه همان‌طور که در بخش ۶-۴ شرح دادیم، افزایش تخلخل در خاک‌های دارای ساختمان مناسب عمده‌تأثیر نتیجه‌ی مقدار بیشتری از منافذ درشت می‌باشد که در آن‌ها آب با شدت کمتری نگهداری می‌شود. خاک‌های متراکم آب کل کمتری را نگهداری کرده اما احتمالاً دارای نسبت بیشتری از منافذ کوچک و متوسط می‌باشد که آب را با شدت بیشتری از منافذ درشت نگهداری می‌کند. بنابراین، ساختمان خاک در شکل منحنی‌های مشخصه آب در فاصله‌ی پتانسیل‌های صفر تا ۱۰۰ کیلوپاسکال به‌طور غالب تأثیرگذار است. شکل منحنی‌های رطوبتی در فاصله پتانسیل‌های باقی‌مانده معمولاً بیانگر تأثیر بافت می‌باشد. منحنی‌های مشخصه آب خاک در شکل ۱۲-۵ دارای ارزش عملی قابل‌توجهی برای اندازه‌گیری‌ها و فرایندهای مزرعه می‌باشند. در مباحث بعد که جنبه‌های عملی رفتار آب خاک مورد بررسی قرار خواهند گرفت این منحنی‌ها برای مراجعه مفید خواهند بود.

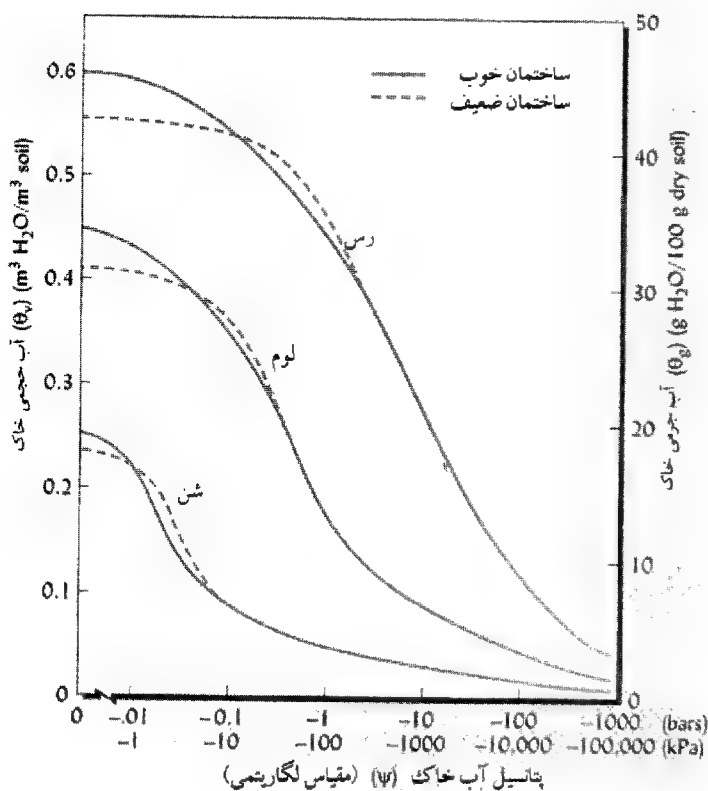
^۱ - Bar

^۲ - water released characteristic curves

^۳ - micropores

جدول ۵-۱ برابری تقریبی واحدهای بیان پتانسیل آب خاک

پتانسیل آب خاک بر حسب کیلو پاسکال	پتانسیل آب خاک بر حسب بار	ارتفاع ستون آب cm
۰	۰	۰
-۱	-۰/۰۱	۱۰/۲
-۱۰	-۱	۱۰۲
-۳۰	-۳	۳۰۶
-۱۰۰	-۱	۱۰۲۰
-۱۵۰۰	-۱۵	۱۵۳۰۰
-۳۱۰۰	-۳۱	۳۱۷۰۰
-۱۰۰۰۰	-۱۰۰	۱۰۲۰۰۰



شکل ۵-۱۲ منحنی پتانسیل آب خاک برای سه خاک معدنی شاخص. منحنی‌ها رابطه‌ی به دست آمده را در خاک‌های کاملاً اشباع که به تدریج خشک شده‌اند نشان می‌دهند خطوط منقطع اثر تراکم و یا ساختمان‌های نامناسب را عرضه می‌کنند. پتانسیل آب خاک ψ (که منفی است) بر حسب بار (مقیاس بالایی) و کیلو پاسکال (مقیاس پایین) بیان شده است توجه داشته باشید که پتانسیل آب خاک در مقیاس لگاریتمی ترسیم شده است.

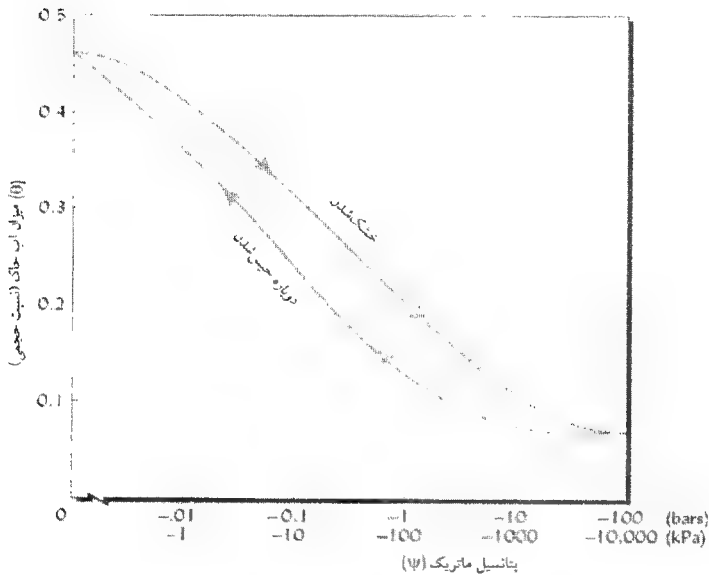
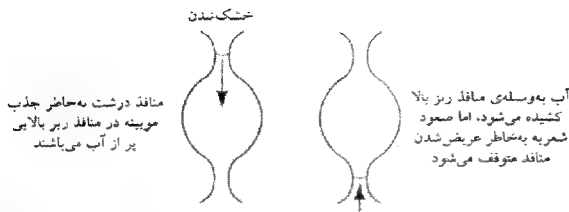
پس ماند^۱

رابطه بین میزان آب و پتانسیل آب خاک هنگام خشک شدن با رابطه آن هنگام تر شدن مقداری متفاوت است این پدیده که پس ماند نامیده می‌شود در شکل ۵-۱۳ تشریح شده است. پس ماند به دلیل عوامل متعددی ایجاد می‌شود که از آن جمله غیریکناختی منافذ می‌باشد هنگام مرطوب شدن خاک آب در بعضی از منافذ کوچک وارد نشده و سبب باقی ماندن هوای محبوس می‌شود که از نفوذ آب جلوگیری می‌کند. به همین ترتیب وقتی خاک اشباع شده خشک می‌شود بعضی از منافذ درشت که ممکن است به وسیله منافذ ریز احاطه شده باشند، اثرات گلوگاهی^۲ ایجاد کرده و تا پایین آمدن پتانسیل ماتریک که بتواند آب را از لوله‌های کوچک خارج سازد آب خود را نگهداری می‌کنند

^۱ - Hysteresis

^۲ - Bottleneck effect

(شکل ۱۳-۵). انبساط و انقباض رس‌ها وقتی خاک خشک شده و مجدداً مرطوب می‌شود تغییراتی را در ساختمان خاک ایجاد می‌کند که در روابط آب- خاک مؤثر است. پس ماند از این نظر مهم است که وقتی خصوصیات خاکی را با خاک دیگر مقایسه می‌کنم باید بدانم که خاک در حال تر شدن است و یا در حال خشک شدن.



شکل ۱۳-۵ رابطه‌ی بین میزان آب خاک و پتانسیل ماتریک در هنگام خشک شدن و یا تر شدن مجدد. پدیده‌ای که پس ماند نامیده می‌شود ظاهراً در اثر عواملی مانند غیریکنواختی منافذ خاک، هوای محبوس شده و انقباض و انبساط است که ممکن است در ساختمان خاک مؤثر باشند. ایجاد می‌شود. اشکال اثر غیریکنواختی منافذ را نشان می‌دهد.

تعیین وضعیت آب خاک

منحنی‌های مشخصه آب خاک که هم اکنون مورد بحث قرار گرفت، اهمیت دو نوع اندازه‌گیری کلی رطوبت خاک، یعنی مقدار آب موجود (میزان آب خاک)، و وضعیت انرژی آب (پتانسیل آب خاک) را روشن می‌کند. برای فهم و یا مدیریت میزان فراهم کردن آب و حرکت آن در خاک‌ها ضروری است که دارای اطلاعات لازم (به‌طور مستقیم اندازه‌گیری شده و یا برآورد شده) از هر دو نوع اندازه‌گیری باشیم. برای مثال، اندازه‌گیری پتانسیل آب ممکن است به‌ما بگوید احتمالاً آب به‌طرف سفره آب زیرزمینی حرکت می‌کند، اما بدون اندازه‌گیری میزان آب خاک مربوطه معنی‌دار بودن این پتانسیل برای تغذیه آب زیرزمینی مشخص نخواهد شد.

به‌طور کلی، رفتار آب خاک در ارتباط بسیار نزدیک با وضعیت انرژی آب است نه با مقدار آب موجود در خاک. بنابراین، یک خاک رسی و یک خاک شن لومی هر دو وقتی مرطوب به‌نظر آمده و آب لازم را به آسانی برای گیاهان فراهم می‌کنند که پتانسیل ماتریک ψ_m آن‌ها در حدود -10 کیلوپاسکال باشد. هر چند میزان آب نگهداری شده به‌وسیله‌ی خاک رسی و مدت زمانی که آب را برای گیاهان فراهم می‌کند در این پتانسیل به‌مراتب بیشتر از خاک شن لومی می‌باشد.

ما روش‌های مختلفی را برای انجام این دو نوع اندازه‌گیری مورد بررسی قرار خواهیم داد. محققین، مدیران اراضی و مهندسين ممکن است ترکیبی از این روش‌ها را برای مطالعه ذخیره و حرکت آب در خاک، مدیریت نظام‌های آبیاری و برآورد رفتار فیزیکی خاک‌ها به‌کاربرند.

اندازه‌گیری مقدار آب خاک

مقدار حجمی آب خاک θ_v به‌عنوان حجمی از آب که در حجم مشخص (معمولاً ۱ مترمکعب) خاک خشک وجود دارد تعریف می‌گردد (شکل ۱۲-۵ را مشاهده کنید). یک اصطلاح قابل‌مقایسه مقدار جرمی آب خاک θ_m بوده که عبارت از جرم آب در یک جرم

¹ - Volumetric soil water content

² - Mass soil water content

مشخص (معمولاً ۱ کیلوگرم) خاک خشک می‌باشد هر کدام از این اصطلاحات در استفاده‌های مختلف از مزایایی برخوردارند. در اکثر موارد در این کتاب از مقدار حجمی آب استفاده می‌کنیم.

از آن‌جا که فکر می‌کنیم در مزرعه یک نظام ریشه نبات آب موجود در عمق به‌خصوص از خاک را استخراج می‌کند و از آن‌جا که بارندگی (و بعضی مواقع آبیاری) را بر حسب عمق آب (برای نمونه میلیمتر باران) بیان می‌کنیم، اغلب راحت‌تر است که مقدار حجمی آب را بر حسب نسبت عمق (عمق آب در واحد عمق خاک) بیان کنیم. میزان عددی این دونوع اصطلاح برابر می‌باشد. برای نمونه خاکی که دارای ۰/۱ مترمکعب آب در یک مترمکعب خاک خشک (۰/۱۰ حجمی آب) دارای نسبت عمق آب ۰/۱ در ۱ متر عمق خاک می‌باشد.^۱

روش وزنی: روش وزنی یک روش مستقیم اندازه‌گیری میزان آب خاک بوده و بنابراین این یک روش استاندارد است که با آن تمام روش‌های غیرمستقیم اندازه‌گیری رطوبت واستجی می‌گردند. آب موجود در جرم مشخص (اگر وزن مخصوص ظاهری مشخص باشد در حجم مشخص) ذرات جامد خاک در این روش تعیین می‌گردد. یک نمونه از خاک مرطوب وزن شده و در یک کوره با درجه حرارت ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت^۲ خشک شده و در آخر توزین می‌گردد میزان ازدست‌رفتن وزن بیانگر مقدار رطوبت خاک است. تابلو ۵-۲ مثال‌هایی از طرز محاسبه θ_m و θ_v ارائه می‌دهد. روش وزنی یک روش مخرب است (نمونه‌های خاک در هر اندازه‌گیری دور ریخته می‌شوند) و قابلیت خودکارشدن را ندارد، بنابراین، برای مشاهده‌ی تغییرات در رطوبت خاک نامناسب می‌باشد. روش‌های متعدد غیرمستقیم برای اندازه‌گیری، که غیرمخرب بوده و به آسانی دارای قابلیت خودکارشدن بوده و در مزرعه بسیار مفید می‌باشد در جدول ۵-۲ آمده است. پخش نوترون^۳: یک میله‌ی پخش نوترون که از داخل لوله آلومینیومی قبلاً نصب شده در داخل خاک به پایین برده می‌شود (شکل ۱۵-۵)، دارای منبع تولید نوترون‌های سریع و یک دستگاه آشکارگر نوترون‌های کند است. وقتی نوترون‌های سریع به اتم‌های هیدروژن (که اعظم آن‌ها بخشی از مولکول آب می‌باشند) برخورد می‌کنند، سرعت آن‌ها کاهش یافته و پراکنده می‌شوند. تعداد اتم‌های شمارش شده به وسیله‌ی آشکارگر در ارتباط با میزان آب خاک است. در صورت واستجی این اندازه‌گیری‌ها، با رطوبت خاک موردنظر، کار با دستگاه آسان بوده و نتایج دقیقی در خاک‌های معدنی ارایه می‌کند (جدول ۵-۲ را مشاهده کنید). هرچند در خاک‌های آلی روش دارای دقت کمتر می‌باشد، زیرا نوترون‌ها با بسیاری از اتم‌های هیدروژن که در ترکیب مواد آلی است نه در مولکول آب برخورد می‌کنند.

بازتاب‌سنجی زمانی^۴: یک روش نسبتاً جدید به نام TDR دو عامل را اندازه می‌گیرد: ۱- زمان لازم برای حرکت روبه‌پایین یک نیروی محرکه آبی الکترومغناطیسی از دو میله موازی هادی فلزی (هادی موج) که در داخل خاک نصب شده‌اند، و ۲- میزان کاهش نیروی محرکه در انتهای میله‌ها هنگام برخورد به خاک. زمان انتقال در ارتباط با ضریب دی‌الکتریک^۵ ظاهری خاک است که خود را در ارتباط با میزان آب خاک است. کاهش علایم موج در ارتباط با میزان نمک در محلول خاک است بنابراین دستگاه می‌تواند هم میزان آب و هم میزان شوری را اندازه‌گیری کند.

میله‌های هادی موج TDR یا قابل‌حمل بوده (در هر قرائت باید در داخل خاک نصب گردند) و یا در عمق‌های مختلف خاک برای همیشه نصب گردیده و به وسیله‌ی کابل به جعبه‌ی تجهیزات که در آن وسیله اندازه‌گیری یا داتا لوگر رایانه‌ای نصب شده است وصل می‌شود. TDR دارای چنان تجهیزات کامل الکترونیکی و نرم‌افزارهای رایانه‌ای می‌باشند که قادر است تغییرات بسیار کوچک و لثاژ را در فواصل زمانی پیکوثانیه^(۱۰^{-۱۲} ثانیه) به‌طور دقیق اندازه‌گیری کند. این وسیله به‌رغم گرانی می‌تواند بدون واستجی مکرر و سنجش در اکثر خاک‌ها برای به‌دست آوردن قرائت‌های دقیق در تمام مقادیر آب مورد استفاده قرار گیرد.

۱ - وقتی مقدار آب داده شده به خاک به وسیله‌ی آبیاری اندازه‌گیری می‌شود به‌طور معمول از واحدهای حجمی مانند متر مکعب و یا هکتارمتر (حجم آبی که یک هکتار را با عمق ۱ متر می‌پوشاند) استفاده می‌شود. زارعین و مرتع داران در مناطق تحت آبیاری در ایالات متحده از واحد انگلیس فوت مکعب و یا اکرفوت استفاده می‌کنند.

۲ - زمان لازم برای خشک‌شدن باید فراهم گردد به‌طوری‌که ازدست‌رفتن رطوبت خاک متوقف شده و وزن خاک ثابت گردد. برای صرفه جویی در زمان از یک کوره میکروویو می‌توان استفاده کرد. حدود ۱۲ نمونه کوچک خاک (هر یک حدود ۲۰ گرم) در استوانه‌های شیشه‌ای در یک کوره ۱۰۰۰ وات با صفحه گردان در ۳ دوره متوالی ۳ دقیقه‌ای و بالاترین توان کوره می‌توان خشک کرد.

۳ - Neutron scattering

۴ - Time domine reflectometry

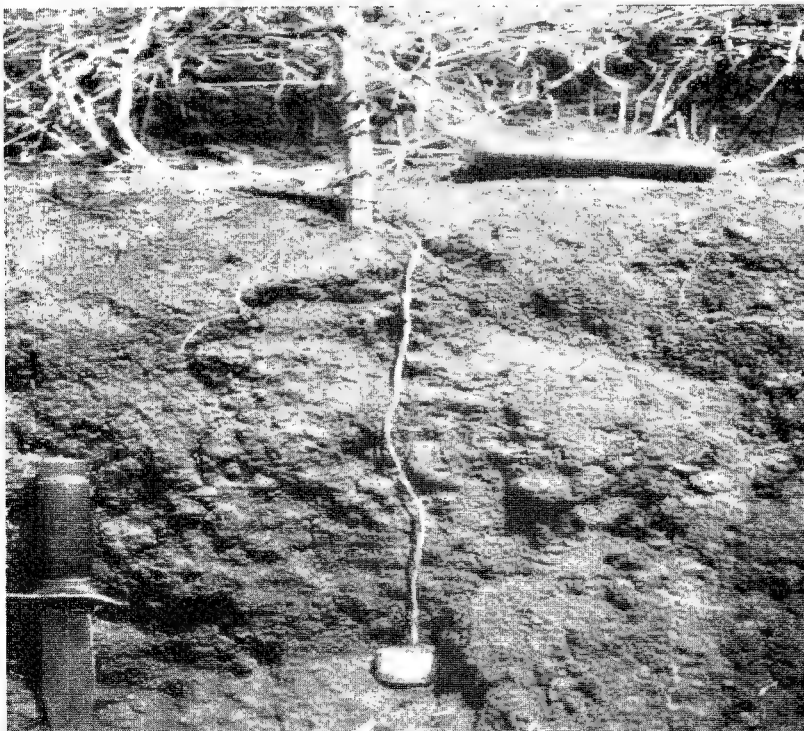
۵ - Dielectric constant

اندازه‌گیری پتانسیل آب خاک

واکنش سنج^۱: میزان کششی که به وسیله آن، آب در خاک نگهداری می‌شود معرف پتانسیل آب خاک ψ می‌باشد. واکنش سنج‌های صحرایی (شکل ۱۷-۵) این کشش و یا مکش را اندازه‌گیری می‌کنند. واکنش سنج اساساً یک لوله پر شده از آب است که انتهای آن به وسیله یک کلاهک سفالی بسته شده است. بالای واکنش سنج به وسیله سرپوش در مقابل نفوذ هوا پوشیده شده است. با قراردادن واکنش سنج در خاک، آب داخل واکنش سنج از طریق کلاهک متخلخل به خاک مجاور وارد شده تا هنگامی که پتانسیل آب در واکنش سنج مساوی پتانسیل ماتریک خاک شود. با خارج شدن آب، مکش در زیر سرپوش ایجاد می‌شود که می‌تواند به وسیله یک مکش سنج، و یا مبذل الکترونیکی اندازه‌گیری شود. اگر بارندگی و یا آبیاری خاک را مجدداً مرطوب کند آب از طریق کلاهک سفالی به داخل واکنش سنج وارد می‌شود و سبب کاهش مکش و یا کشش ثبت شده به وسیله مکش سنج می‌شود.

واکنش سنج در فاصله صفر تا ۸۵- کیلوپاسکال مفید می‌باشد، دامنه‌ای که نصف و یا حتی بیش از نصف آب ذخیره شده در خاک را شامل می‌شود. واکنش سنج‌های آزمایشگاهی که صفحات مکش نامیده می‌شود در دامنه‌ی پتانسیل مشابه با واکنش سنج‌های صحرایی کار می‌کنند. وقتی خاک کمتر از ۸۰- تا ۸۵- کیلوپاسکال خشک می‌شود واکنش سنج از کار باز می‌ماند، زیرا هوا از طریق منافذ سفال داخل واکنش سنج شده و سبب از بین رفتن مکش می‌شود. یک کلید سلنویید می‌تواند در یک واکنش سنج صحرایی برای روشن کردن و خاموش کردن نظام آبیاری به‌طور خودکار نصب گردد.

قطعات مقاومت الکتریکی^۲: روش قطعات مقاومت الکتریکی از قطعات کوچک متخلخل گچ، نایلون و یا پشم شیشه^۳ که در آن الکترودهایی به خوبی کار گذاشته شده است استفاده می‌کند. وقتی که قطعه در داخل خاک مرطوب قرار داده می‌شود و مقداری آب را در ارتباط با میزان پتانسیل آب خاک جذب می‌کند، مقاومت آن در مقابل جریان الکتریکی بین الکترودهای کار گذاشته شده به نسبت کاهش می‌یابد (شکل ۱۴-۵). دقت و دامنه‌ی مقدار رطوبت اندازه‌گیری شده به وسیله این وسیله محدود می‌باشد (جدول شماره ۲-۵)، هر چند این وسیله ارزان بوده و می‌تواند برای اندازه‌گیری تغییرات تقریبی رطوبت خاک در طول یک یا چند فصل زارعی به کار رود. امکان ارتباط آن‌ها با کلیدهای الکترونیکی وجود داشته بنابراین نظام‌های آبیاری می‌تواند به‌طور خودکار درمقادیر مشخص رطوبت خاک خاموش و روشن شوند.



شکل ۱۴-۵- نمایش از قطعه‌ی گچی مقاومت الکتریکی تجاری که در عمق ۴۵ سانتی متری از سطح خاک قرار گرفته است. سیم‌هایی از قطعه گچی به سطح امتداد یافته و در آن‌جا می‌تواند به دستگاه مقاومت سنج وصل گردد. در اکثر کاربردها قطعات متعددی باید در عمق‌های مختلف در سرتاسر عمق انتشار ریشه جایگذاری شوند.

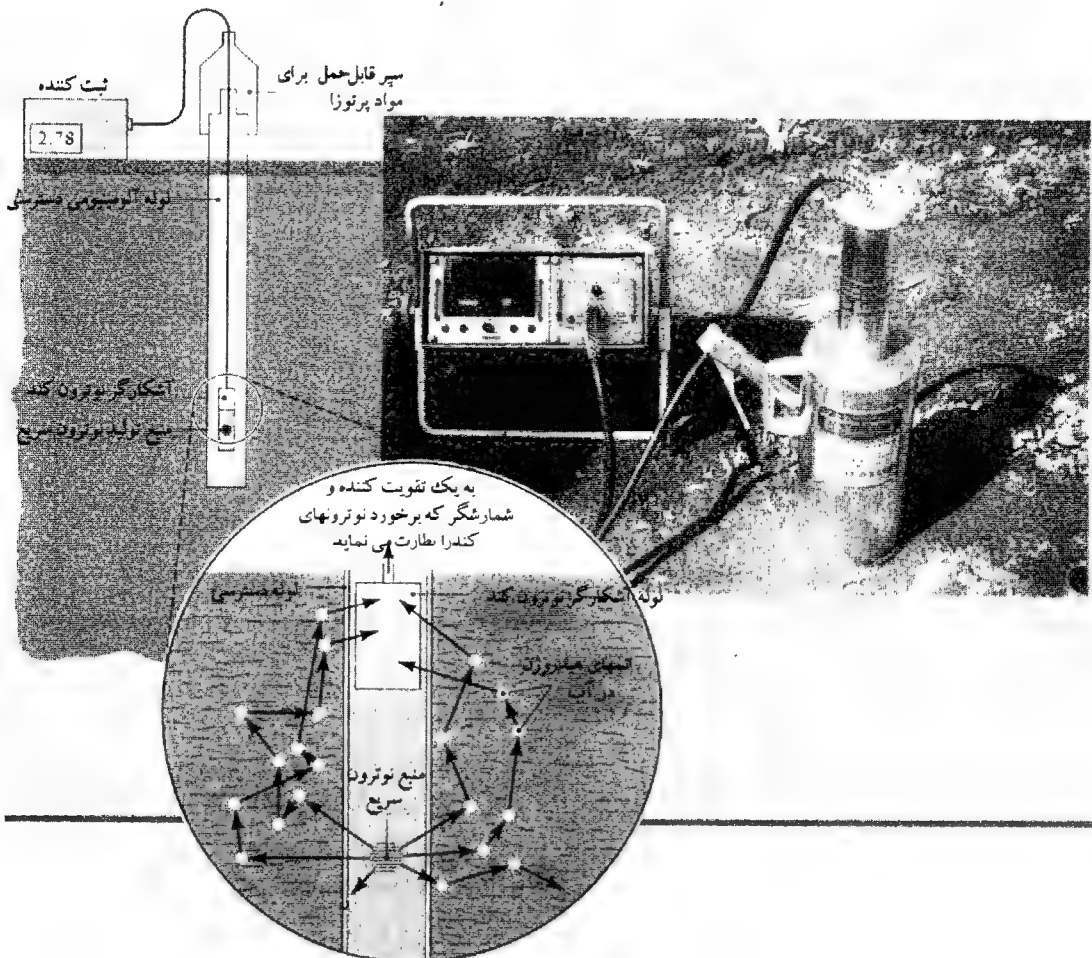
^۱ - Tentiometer

^۲ - Electrical resistance blocks

^۳ - Fiberglass

نم سنج افتراق حرارتی (ترموکوپل سایکرومتر)^۱: از آنجاکه ریشه گیاهان هنگام جذب آب از خاک باید بر هر دو نیروی ماتریک و اسمز غلبه کنند در بعضی مواقع به وسیله‌ای نیازمندیم که هر دو نیرو را اندازه‌گیری کند. رطوبت نسبی هوای خاک تحت تأثیر هر دو نیروی ماتریک و اسمز است زیرا هر دو از فرار مولکول‌های آب از محلول خاک جلوگیری می‌کنند.

در ترموکوپل سایکرومتر، یک اتصال ترموکوپل (دو فلز غیرمشابه که رأس‌های آن‌ها به هم وصل شده است در صورت قرارگرفتن در دماهای مختلف یک نیروی محرک الکتروموتیو متناسب با اختلاف دما القا می‌شود) در یک محفظه سفالی نازک (حدود ۵ میلی‌متر) چنان سرد می‌شود که یک قطره آب در روی آن متراکم گردد. وقتی جریان قطع می‌شود قطره آب با نرخی که در ارتباط با عکس رطوبت نسبی هوای اطراف است (که آن نیز در ارتباط با پتانسیل آب خاک است) تبخیر می‌شود و لذا ایجاد شده در اثر تبخیر قطره آب به پتانسیل آب و خاک (ψ_m ، ψ_o) تبدیل می‌شود. ترموکوپل سایکرومتر در خاک‌های نسبتاً خشک بالاترین فایده را دارد زیرا حساسیت دستگاه که ۵۰- تا ۵۰+ کیلوپاسکال است در این خاک‌ها مقادیر قابل‌اعمال آب را شامل می‌شود.



شکل ۱۵-۵ دستگاه نوترون متر چگونه کار می‌کند. لوله‌ای که شامل منبع تولید نوترون سریع و دستگاه آشکارگر نوترون آرام است از داخل یک لوله‌ی معمولاً آلومینیومی به پایین خاک فرستاده می‌شود. نوترون‌ها به وسیله‌ی منبع تولید (رادیوم و یا امریسیوم - بریلیوم) در سرعت بسیار بالایی منتشر می‌شوند (نوترون سریع). وقتی این نوترون‌ها با یک اتم کوچک مانند هیدروژن موجود در آب خاک برخورد می‌کنند مسیر حرکت آن‌ها عوض شده و مقداری از انرژی خود را ازدست می‌دهند. نوترون‌های آرام به وسیله‌ی یک آشکارگر و شمارش‌گر اندازه‌گیری می‌شوند مقدار قرائت‌شده در ارتباط با میزان رطوبت خاک است. تصویر نشان‌دهنده‌ی یک نوترون متر در صحراست. استوانه سنگین فلزی سپری است که فرد اندازه‌گیر را از تابش مواد پرتوزا حفاظت می‌کند. این استوانه بر روی حفرة لوله‌گذاری شده با آلومینیوم قرار داده می‌شود (در منتهی‌الیه سمت راست) و منبع تولید نوترون از داخل لوله‌ی آلومینیوم در داخل حفرة پایین فرستاده می‌شود تا اندازه‌گیری تحقق یابد.

^۱ - Thermocouple psychrometer

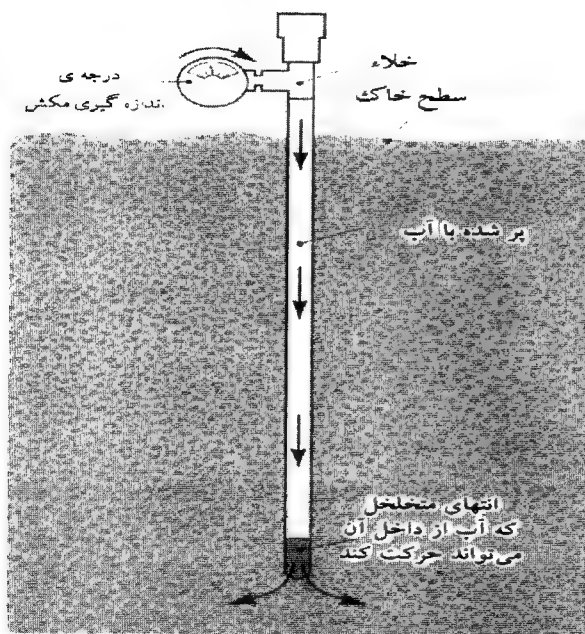
جدول ۲-۵ بعضی از روش‌های اندازه‌گیری آب خاک

توجه کنید که بیش از یک روش برای پوشش تمام دامنه شرایط رطوبتی خاک مورد نیاز می‌باشد

روش	اندازه‌گیری		دامنه استفاده مقید کیلوپاسکال kpa	استفاده عمده		توضیحات لازم
	میزان رطوبت	پتانسیل		مزرعه	آزمایشگاه	
وزنسنجی	×		۰ تا -۱۰۰۰۰		×	به هم زدن مزرعه، روش کند (۱ تا ۲ روز) مگر از میکروویواستفاده شود. روش استاندارد برای واسنجی سایر روش‌ها
قطعات گچی		×	-۱۵۰۰ تا -۱۰۰	×		در نزدیکی آب قابل استفاده ثابت حساس نیست می‌تواند خودکار شود
پخش نوترون	×		۰ تا -۱۵۰۰	×		نیازمند کسب اجازه تابش اشعه، گرانقیمت بوده و برای خاک‌های دارای ماده آلی زیاد مناسب نیست. نیازمند لوله‌های دسترسی آلومینیومی است
TDR	×		۰ تا -۱۰۰۰۰	×	×	می‌تواند خودکار شود، دقت ۱ کیلوپاسکال ، نیازمند میله‌های راهنمای موج است و گران قیمت می‌باشد
مکش سنج		×	۰ تا -۸۵	×		دقت ۱-۰/۱ کیلوپاسکال دامنه استفاده محدود، ارزان می‌تواند خودکار شود نیازمند سرویس می‌باشد
ترموکوپل سایکرومتر		×	۰ تا -۱۰۰۰۰	×	×	دقت ± ۵۰ کیلوپاسکال دامنه استفاده گسترده، نسبتاً ارزان
غشاه فشاری		×	۰ تا -۱۰۰۰۰		×	همراه با روش وزنسنجی برای تهیه متحنی‌های رطوبتی خاک به کار می‌رود



شکل ۱۶-۵ اندازه‌گیری میزان آب خاک با استفاده از دستگاه TDR دستگاه الکترونیکی پالس‌های انرژی الکترومغناطیسی را از دو میله فلزی هادی موج که در زمین کار گذاشته می‌شود ارسال می‌دارد. دستگاه TDR اندازه‌گیری‌های دقیقی از سرعت حرکت پالس از داخل میله‌ها به طرف پایین در پیکوثانیه (۱۰-۱۲ ثانیه) ارسال می‌دارد. این سرعت تحت تأثیر خاک در اطراف میله‌ها می‌باشد. ویژگی‌های دستگاه در دستگاه حالت‌های سوچ ایجاد شده را تجزیه تحلیل کرده و ثابت دی‌الکتریک ظاهری خاک را اندازه‌گیری می‌کنند. از آن‌جاکه ثابت دی‌الکتریک آب خاک عمدتاً تحت تأثیر میزان آب آن است دستگاه می‌تواند اندازه‌گیری‌های خود را به‌درستی به میزان حجمی آب خاک تبدیل کند.



شکل ۱۷-۵ روش مکش سنجی برای تعیین پتانسیل آب خاک در مزرعه. مقطع قائم نشان دهنده اجزای اصلی یک مکش سنج است. آب در انتهای متخلخل دستگاه در پاسخ به مکش (پتانسیل ماتریک) خاک حرکت می کند. مکش ایجاد شده به وسیله ی درجه اندازه گیری بر حسب سانتی بار (کیلو پاسکال) قرائت می شود (پتانسیل آب بر حسب kPa-)

دستگاه غشاء فشاری^۱: این دستگاه (شکل ۱۸-۵)، برای قراردادن خاک در پتانسیل ماتریک از بسیار کم تا حدود ۱۰۰۰۰ کیلو پاسکال مورد استفاده قرار می گیرد. بعد از قراردادن مجموعه ای از خاک ها در پتانسیل ماتریک خاص میزان آب آن ها به وسیله ی روش وزن سنجی مشخص می شود. این وسیله ی مهم آزمایشگاهی اندازه گیری های درستی از میزان آب خاک در دامنه وسیعی از پتانسیل ماتریک در مدت زمان کوتاهی به دست می دهد. این دستگاه با صفحات مکشی^۲ برای به دست آوردن اطلاعات لازم برای ترسیم منحنی های رطوبتی خاک، مانند آنچه که در شکل ۱۲-۵ آمده است به کار می روند.

تابلو ۲-۵ روش وزن سنجی مقدار آب خاک

مراحل وزن سنجی برای تعیین مقدار آب خاک نسبتاً آسان می باشد. فرض کنید که شما می خواهید میزان آب موجود در یک نمونه خاک مرطوب ۱۰۰ گرمی را به دست آورید. نمونه را در یک کوره در ۱۰۵ درجه دما به مدت ۲۴ ساعت قرار داده و پس آن را وزن کنید. فرض کنید که وزن خاک خشک حال ۷۰ گرم باشد، بیانگر این است که ۳۰ گرم آب از خاک مرطوب جدا شده است، بر حسب کیلو گرم این مقدار ۳۰ کیلو گرم در ۷۰ کیلو گرم خاک خشک است، از آن جاکه جرم آب خاک θ_m بر حسب کیلو گرم آب موجود در ۱ کیلو گرم خاک خشک (نه ۱ کیلو گرم خاک مرطوب) بیان می شود می توان به شرح زیر عمل کرد:

$$\frac{30 \text{ کیلو گرم آب}}{70 \text{ کیلو گرم خاک خشک}} = \frac{X \text{ کیلو گرم آب}}{\text{کیلو گرم خاک خشک}} \rightarrow X = \frac{30}{70} = 0.428 = \theta_m \frac{\text{کیلو گرم آب}}{\text{کیلو گرم خاک خشک}}$$

برای محاسبه مقدار حجمی آب خاک θ_v ، نیازمندیم که وزن مخصوص ظاهری خشک را بدانیم که در این مورد فرض می کنیم $1/3$ مگاگرم در مترمکعب باشد. یک مترمکعب در این خاک ۱۳۰۰ کیلو وزن دارد. از محاسبات فوق الذکر می دانیم که جرم آب همراه با این ۱۳۰۰ کیلو گرم خاک ۵۵۶ کیلو گرم (1300×0.428) می باشد. از آن جاکه ۱ مترمکعب آب ۱۰۰۰ کیلو گرم وزن دارد، ۵۵۶ کیلو گرم آب، حجمی معادل 0.556 مترمکعب را اشغال می کند ($556 \div 1000$) بنابراین مقدار حجمی رطوبت 0.556 مترمکعب در هر مترمکعب خاک خشک است:

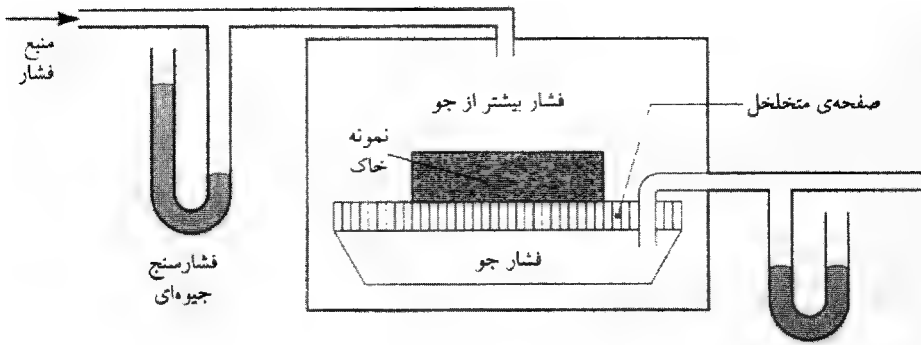
$$\frac{556 \text{ مترمکعب آب}}{1 \text{ مترمکعب خاک}} = \frac{0.428 \text{ کیلو گرم آب}}{1 \text{ کیلو گرم خاک}} \times \frac{1 \text{ مترمکعب آب}}{1000 \text{ کیلو گرم آب}} \times \frac{1300 \text{ کیلو گرم خاک}}{1 \text{ مترمکعب خاک}} = \theta_v$$

$$\theta_v = \theta_m \times D_b$$

رابطه بین مقدار وزنی و حجمی آب می تواند به صورت زیر خلاصه شود.

^۱ - Pressure membrane apparatus

^۲ - Tension plate



شکل ۱۸-۵ دستگاه غشای فشاری که برای تعیین روابط مقدار آب خاک با پتانسیل، ماتریک در خاک به کار می‌رود. یک منبع گاز بیرونی سبب ایجاد فشار در داخل محفظه شده و آب خاک با فشار از طریق یک صفحه متخلخل به داخل یک محفظه دیگر که در آن فشار نیوار حکم فرماست، فرستاده می‌شود. فشار اعمال شده وقتی جریان آب متوقف می‌شود میزان پتانسیل آب خاک را مشخص می‌سازد. این دستگاه پتانسیل‌های بسیار پایینی (خاک خشک) را در مقایسه با مکش سنج‌ها صفحات مکش می‌تواند اندازه‌گیری کند.

۵-۵ جریان آب مایع در خاک

سه نوع حرکت در خاک مشخص شده است که عبارتند از: (۱) جریان اشباع (۲) جریان غیر اشباع (۳) حرکت بخار. در تمام سه مورد آب در پاسخ به شیب پتانسیل حرکت کرده و آب از منطقه‌ای که دارای پتانسیل بالاست به منطقه‌ای که دارای پتانسیل پایین است جریان می‌یابد. جریان اشباع وقتی انجام می‌گیرد که منافذ خاک به طور کامل مملو از آب (اشباع) می‌باشند. جریان غیر اشباع وقتی صورت می‌گیرد که منافذ درشت در خاک از هوا پر شده و منافذ کوچک نگهداری و انتقال آب را به عهده دارند. وقتی اختلاف فشار بخار در خاک نسبتاً خشک ایجاد می‌شود حرکت بخار آب آغاز می‌گردد.

جریان اشباع در داخل خاک‌ها

تحت بعضی از شرایط ممکن است حداقل بخشی از خاکرخ کاملاً اشباع شده باشد، بدین معنی که تمام منافذ کوچک و بزرگ آن از آب پر هستند. افق‌های پایین خاک‌های دارای زه‌کشی ضعیف اغلب اشباع می‌باشند. همین‌طور بخش‌هایی از خاک دارای زه‌کشی خوب که در خاک‌های مطلق رسی قرار دارند اشباع هستند. همزمان با یک بارندگی سنگین و انجام آبیاری و یا بلافاصله بعد از آن‌ها، خسل و فرج در لایه‌های فوقانی خاک اغلب و به طور کامل از آب پر می‌شوند.

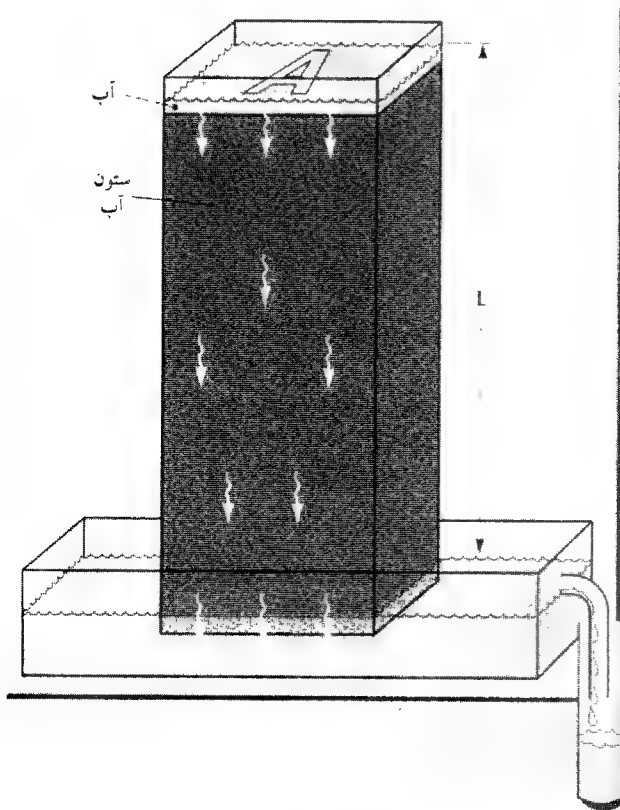
هدایت آبی اشباع^۱ مقدار آبی که در واحد زمان (Q) که از یک ستون خاک اشباع می‌گذرد می‌تواند به وسیله قانون داری به شرح زیر بیان شود:

$$Q = K_{Sat} \cdot A \cdot \Delta P / L$$

که در آن K_{Sat} ضریب هدایت آبی اشباع (ویژگی انحصاری هر خاک)، A سطح مقطع ستونی که آب از آن عبور می‌کند، ΔP اختلاف فشار ایستایی بالا و پایین ستون آب‌گذری، L طول ستون. از آن‌جا که A و L در یک ستون خاک ثابت می‌باشد میزان جریان به وسیله نیروی آبی (هیدرولیکی) ΔP ، که سبب رانش آب به داخل خاک می‌شود (معمولاً نیروی قفل) و ضریب هدایت آبی اشباع و یا سهولت عبور آب از منافذ، تعیین می‌گردد. در مقایسه شخص می‌تواند آب‌گذری در خاک را مشابه پمپاژ آب در داخل یک لوله نرم آبیاری باغچه در نظر آورد که در آن K_{Sat} بیانگر قطر لوله (آب با آسانی بیشتری از یک لوله بزرگ عبور می‌کند) و ΔP بیانگر اندازه پمپی است که آب را از داخل لوله عبور می‌دهد.

ضریب هدایت آبی اشباع (K_{Sat}) یک خاک یکنواخت طی زمان به خوبی ثابت باقی می‌ماند (با فرض این که خاک در این مدت متراکم نشده و به هم نخورده باشد). مقدار K_{Sat} در ارتباط با اندازه و طرز قرار گرفتن منافذ خاک است که تمام آن‌ها از آب مملو می‌باشد این امر در تضاد با ضریب آب‌گذری خاک‌های غیر اشباع است که با کم شدن میزان آب خاک کاهش می‌یابد.

شیب آبی^۱: درمورد حرکت اشباع قائم (شکل ۱۹-۵)، نیروی رانش که شیب آبی ΔP شناخته می‌شود و مساوی h/L است، که مساوی نسبت اختلاف ارتفاع سطح آب در بالا و پایین ستون خاک به طول ستون خاک می‌باشد. حجم آبی که از ستون آب به پایین حرکت می‌کند از حاصلضرب این نیرو با سطح مقطع A که جریان از داخل آن می‌گذرد و با ضریب هدایت آبی اشباع (K_{sat}) به دست می‌آید. از شکل ۱۹-۵ نباید استنباط کرد که جریان اشباع فقط به طرف پایین خاک انجام می‌گیرد نیروی آبی همین‌طور می‌تواند جریان افقی و یا حتی روبه بالا را سبب گردد، وقتی آب زیرزمینی به یک رودخانه می‌رسد این حرکت صورت می‌گیرد (بخش ۸-۶ را مشاهده کنید)، گرچه میزان این جریان معمولاً چندان سریع نیست، زیرا نیروی ثقل در جریان افقی تأثیری ندارد و مانع از جریان روبه بالاست. حرکت نقلی (به طرف پایین) و حرکت افقی در شکل ۲۰-۵ نشان داده شده است، که در آن جریان آب از یک جویچه آبیاری در دو نوع خاک لوم شنی و لوم رسی ثبت شده است. آب در داخل خاک لومی بسیار سریع‌تر از خاک لوم رسی به طرف پایین حرکت کرده است. از طرف دیگر حرکت افقی، (که عمدتاً بر اثر حرکت غیراشباع انجام می‌گیرد) در خاک لوم رسی بسیار بارزتر است.



شکل ۱۹-۵ جریان اشباعی (نفوذ عمقی) در یک ستون خاک با سطح مقطع A تمام منافذ خاک مملو از آب است. نیروی رانش آب در داخل خاک H ، که اختلاف در بین ارتفاع آب بالا و پایین ستون خاک می‌باشد. این نیرو نیز می‌تواند در مسیر افقی اعمال گردد. در شکل نشان داده شده است که آب به داخل یک ظرف کناری جریان یافته و مشخص می‌کند که آب در واقع به طرف پایین نیرخ حرکت می‌کند.

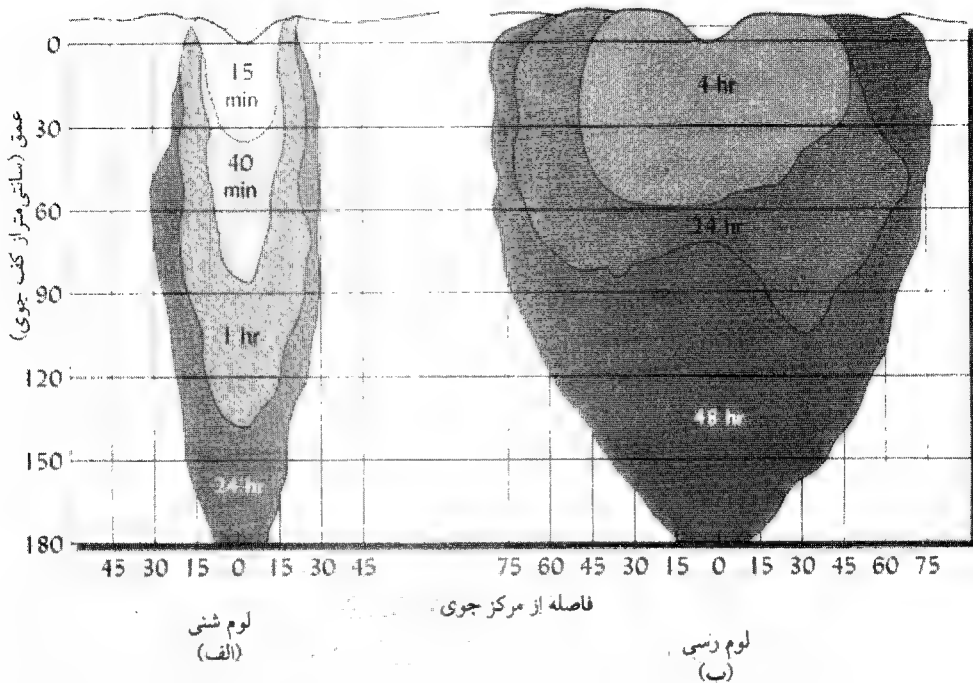
عوامل موثر در ضریب هدایت آبی خاک‌های اشباع

هر عاملی که در اندازه و طرز قرار گرفتن منافذ خاک موثر باشد، در ضریب آب‌گذری نیز موثر است. میزان کل جریان در منافذ خاک در ارتباط با توان چهارم شعاع منافذ می‌باشد بنابراین میزان جریان در داخل منافذ با قطر ۱ میلی‌متر (مانند گذرگاه‌های کرم خاکی) معادل میزان جریان از ۱۰۰۰۰ لوله با قطر ۰/۱ میلی‌متر می‌باشد، گرچه فقط ۱۰۰ منفذ با قطر ۰/۱ میلی‌متر لازم است که همان سطح مقطع منفذ ۱ میلی‌متر قطر را ایجاد کند. در نتیجه، منافذ درشت با قطر بیشتر از ۰/۴ میلی‌متر اکثر جریان آب را در خاک‌های اشباع به عهده دارند، حضور منافذ زیستی مانند ریشه‌رها و حفره‌های کرم خاکی (عمدتاً با قطر بیشتر از ۱ میلی‌متر) در ضریب آب‌گذری اشباع لایه‌های مختلف آب تأثیر چشم‌گیری دارند (جدول ۳-۵).

بافت و ساختمان یک افق خاک به‌طور مستقیم ضریب آب‌گذری اشباع آن را مشخص می‌سازد. از آن‌جاکه خاک‌های شنی معمولاً دارای منافذ درشت بیشتری هستند دارای آب‌گذری اشباع بیشتری از خاک‌های بافت ریز می‌باشند. به همین ترتیب خاک‌های دارای ساختمان گرد

^۱ - Hydraulic gradient

دانه‌ای^۱ پایدار از خاک‌های دارای ساختمان ناپایدار که در هنگام مرطوب شدن فرومی‌ریزند آب را با سرعت بسیار بالاتری هدایت می‌کنند رس خیلی ریز ولای می‌تواند راه‌های کوچک رابط بین منافذ درشت را بند آورند. هوای محبوس شده که در خاک‌های تازه مرطوب شده وجود دارند می‌توانند حرکت آب را کند کرده و بنابراین آب‌گذری اشباع را کاهش دهند.



شکل ۲۰- مقادیر قابل‌مقایسه‌ی حرکت آب آبیاری در داخل یک خاک لوم شنی و یک خاک لوم رسی. به حرکت بسیار سریع در خاک لوم شنی به‌خصوص در مسیر رو به پایین توجه کنند.

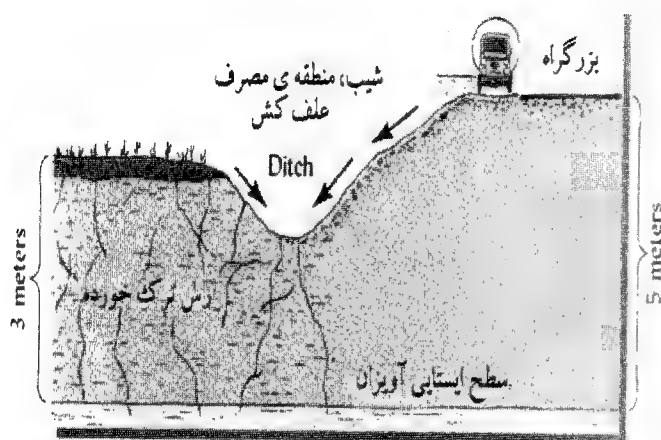
جریان ترجیحی^۲: توجه به حرکت آفت‌کش‌ها و سایر مواد شیمیایی سمی از داخل خاک و ورود آن‌ها به‌داخل آب‌های زیرزمینی انظار را به عدم تجانس ساختمان در بعضی از خاک‌ها جلب کرده است. اندازه‌گیری ضریب آب‌گذری بر روی استوانه‌های کوچک و یا خاک‌های الک‌شده و تراکم‌یافته در ستون‌های آزمایشگاهی به‌طور عجیبی حرکت واقعی آب و مواد شیمیایی حل شده را در مزرعه کمتر برآورد می‌کند. در خاک مزرعه واقعی آب ممکن است از طریق مسیرهای مخصوصی به‌طور ترجیحی سریع‌تر از حرکت آرام‌تر و یکنواخت‌تر از طریق کل حجم خاک حرکت کند. ممکن است این مسیرهای جریان ترجیحی امکان حرکت سریع آب حاوی مواد شیمیایی را به بخش عمیق خاک فراهم کند و آلودگی احتمالی آب زیرزمینی را افزایش دهد.

در برخی خاک‌های شنی به‌خصوص این حرکت (انگشت مانند) در خاک‌هایی که سریعاً مرطوب می‌شوند صورت می‌گیرد و بسیار شبیه قطرات بارانی است که بر روی شیشه پنجره بارش نموده و در آنجا پس از تجمع به‌صورت جویبارهایی نه‌مانند جریان صفحه‌ای یکنواخت به پایین پنجره جریان می‌یابد. شواهد این نوع جریان در طول تشکیل خاک در مرزهای انگشت مانند افق‌ها در خاک‌های شنی اسپدسون^۳ که در شکل ۲۵-۳ نشان داده شده قابل‌مشاهده است. ممکن است در خاک‌های بافت ریز انقباض رس در طول دوره‌های خشک شبکه‌ای از ترک‌ها در بین واحدهای ساختمانی مکعبی و منشوری ایجاد کند (شکل ۱۲-۴ را مشاهده کنید). این ترک‌ها ممکن است به‌صورت مسیرهایی برای جریان ترجیحی آب (شکل ۲۱-۵) عمل می‌کنند که حرکت رو به پایین سریع آب حاصل از باران و مواد شیمیایی همراه آنرا قبل از این‌که خاک پیرامون آن‌ها مرطوب شده و ترک‌ها بسته شوند سبب گردند. ممکن است منافذ زیستی^۳ مانند حفره‌های عمیق کرم‌های خاکی و کانال‌های قدیم ریشه‌راه‌ها به‌صورت مسیرهای جریان ترجیحی عمل کنند.

^۱ - Granular Structure

^۲ - preferential flow

^۳ - Biopores



شکل ۲۱-۵ تشریح اثرات ترک‌های طبیعی خاک در آب‌گذری و حرکت رو به پایین آفت‌کش‌ها به آب زیرزمینی یک علف‌کش در طول یک اتوبان. استعمال گردید (راست) با این تفکر که حرکت رو به پایین به داخل آب زیرزمینی مسأله مهمی نباشد. چون خاک‌های اطراف دارای بافت ریز بوده و انتظار نمی‌رفت که نفوذ مواد شیمیایی را به آسانی عملی سازد. به دلیل وجود ترک‌های عریض در این نوع رس انبساط پذیر. اولین باران سنگین قبل از این که خاک‌های انبساط یافته و بتوانند ترک‌ها را ببندند. سبب حمل مواد شیمیایی به داخل آب زیرزمینی گردید. از طریق آب زیرزمینی علف‌کش‌ها می‌توانند به رودخانه‌های نزدیک وارد شوند.

جدول ۳-۵ ضریب هدایت آبی اشباع (K_{Sat}) و خصوصیات مربوطه‌ی افق‌های مختلف در خاک‌رخ تپیک هاپلودولت^۲. افق‌های بالایی دارای منافذ زیستی (عمدتاً حفره‌های کرم‌های خاکی) بود که سبب ایجاد ارقام بالای K_{Sat} و همچنین تغییرات شدید در بین نمونه‌ها گردید. وجود افق ارجلیک غنی از رس سبب کاهش K_{Sat} گردید. ظاهراً اکثر منافذ زیستی در این خاک تا زیر ۳۰ سانتی‌متر انتشار نیافته بودند.

افق	عمق (سانتی‌متر)	درصد رس	وزن مخصوص ظاهری	میانگین K_{Sat} (سانتی‌متر در ساعت) (الف)	دامنه تغییرات K_{Sat}
AP	۰-۱۵	۱۲/۶	۱/۴۲	۲۲/۴	۰/۸-۷۰
E	۱۵-۳۰	۱۱/۱	۱/۴۴	۷/۹	۰/۵-۲۴
E/B	۳۰-۴۵	۱۴/۵	۱/۴۷	۰/۹۳	۰/۵۳-۱/۳۳
Bt	۴۵-۶۰	۲۲/۲	۱/۴۰	۰/۴۹	۰/۱۹-۰/۷۹
Bt	۶۰-۷۵	۲۷/۲	۱/۳۸	۰/۱۷	۰/۰۷-۰/۲۷
Bt	۷۵-۹۰	۲۴/۱	۱/۲۸	۰/۰۴	۰/۰۱-۰/۰۷

الف: برای هر لایه K_{Sat} از روی ۵ نمونه‌ی به هم نخورده با قطر ۷/۵ سانتی‌متر به دست آمد.

جریان غیراشباع در خاک‌ها

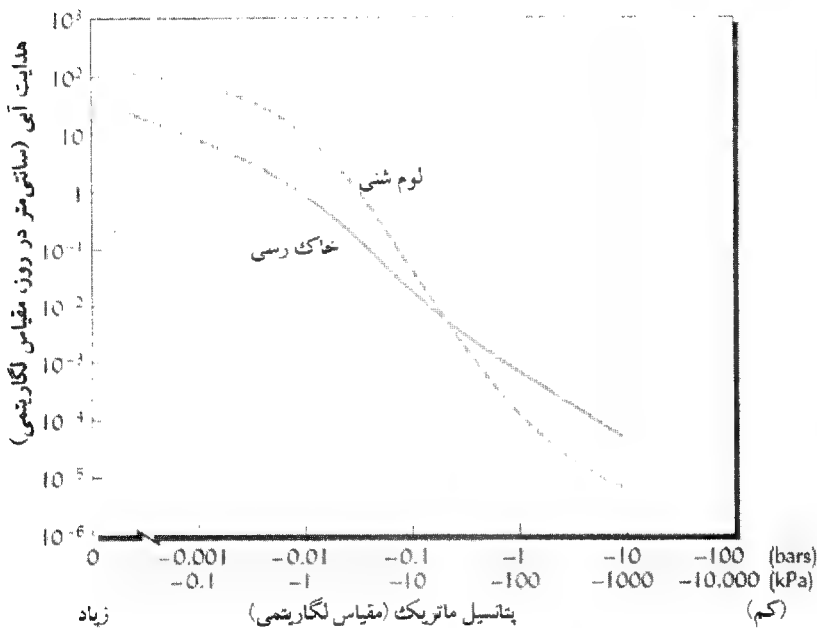
در اکثر مواقع حرکت آب وقتی صورت می‌گیرد که خاک‌های نقاط بالا دست غیراشباع می‌باشند این نوع حرکت در شرایطی بسیار غامض‌تر از شرایط جریان اشباع صورت می‌گیرد. در خاک‌های اشباع، اساساً تمام منافذ از آب مملو بوده و سریعترین حرکت آب در داخل منافذ درشت و پیوسته انجام می‌گیرد. اما در خاک‌های غیراشباع این منافذ درشت از هوا مملو بوده و فقط منافذ ریز حرکت آب را میسر می‌سازند. همچنین، در خاک‌های غیراشباع میزان آب و در نتیجه شدت نگهداری آب در خاک (پتانسیل آب) بسیار متغیر است. این در میزان و مسیر حرکت آب مؤثر بوده و اندازه‌گیری جریان آب خاک را مشکل‌تر می‌سازد.

همانند جریان اشباع، نیروی پیش‌برنده جریان آب غیراشباع تفاوت در پتانسیل آب است، هرچند در این نوع جریان اختلاف در پتانسیل ماتریک نه در پتانسیل ثقیلی نیروی اولیه پیش‌برنده جریان غیراشباع است. شیب پتانسیل ماتریک عبارتست از اختلاف در پتانسیل ماتریک مناطق مرطوب خاک با مناطق خشک مجاور است که آب به آن‌جا حرکت می‌کند. حرکت از یک منطقه با لایه‌ی ضخیم آب (پتانسیل ماتریک بالا مثلاً $Kpa -1$) به منطقه‌ی خشک با لایه نازک (پتانسیل ماتریک کم $Kpa -100$) انجام می‌گیرد.

تأثیر بافت: شکل ۲۲-۵ رابطه‌ی کلی شیب پتانسیل ماتریک Ψ_m (و مقدار آب محتوی) و هدایت آبی یک خاک لومی شنی و رسی را نشان می‌دهد. توجه کنید که در پتانسیل صفر و یا نزدیک آن (که منطقه دارای جریان اشباعی را مشخص می‌کند) هدایت آبی هزاران مرتبه بزرگ‌تر از مناطق با پتانسیل کم با جریان غیراشباعی (۱۰- کیلوپاسکال و کمتر) می‌باشد.

در پتانسیل‌های بالا (میزان رطوبت زیاد) هدایت آبی شن بالاتر از رس است. عکس این حالت، در پتانسیل‌های پایین (میزان رطوبت کم) صادق می‌باشد. این رابطه قابل انتظار است زیرا خاک‌های شنی دارای منافذ درشتی است که وقتی پتانسیل بالا است (و خاک کاملاً خیس است) از آب مملو می‌شوند اما اکثر این منافذ وقتی پتانسیل آب خاک از ۱۰- کیلوپاسکال کمتر است از آب خالی می‌شوند. خاک رسی دارای ریز منافذ بسیاری می‌باشد که در پتانسیل پایین آب (شرایط خشک‌تر خاک) هنوز از آب پر بوده و می‌توانند در جریان غیراشباع شرکت کنند.

تأثیر بزرگی شیب پتانسیل در حرکت آب به وسیله‌ی شکل ۲۳-۵ تشریح شده است. اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی بر روی سه خاک خیس در مجاورت یک خاک خشک نشان داد که هرچه آب در خاک مرطوب بیشتر باشد شیب پتانسیل ماتریک بین خاک خیس و خاک خشک بیشتر بوده و سرعت حرکت نیز بیشتر است توجه کنید که منحنی‌ها وقتی آب به داخل خشک حرکت می‌کند صاف می‌شوند زیرا فاصله L بین مرطوب‌ترین خاک با خاک هنوز مرطوب نشده افزایش پیدا کرده و سبب کاهش شیب آبی $\Delta\psi/L$ می‌شوند.



شکل ۲۲-۵ رابطه‌ی کلی بین پتانسیل ماتریک و هدایت آبی در یک خاک رسی و یک خاک شنی (به مقیاس لگاریتمی توجه کنید). جریان اشباع در پتانسیل صفر و یا نزدیکی آن صورت می‌گیرد درحالی‌که اکثر جریان غیراشباع، در ۱۰- کیلوپاسکال و یا کمتر از آن انجام می‌شود.

۶-۵ نفوذ آب در خاک^۱ و نفوذ عمقی^۲

یک حالت خاص از حرکت آب، ورود آب آزاد به داخل خاک از فصل مشترک خاک و هوا می‌باشد. همان‌طور که در فصل ۶ تشریح خواهیم کرد، این یک فرایند محوری در آب‌شناسی اراضی بوده که به‌طور عمده در رژیم رطوبتی برای گیاهان، پتانسیل تخریب اراضی، رواناب شیمیایی و سیل‌گیری پایین دست مؤثر می‌باشد. منبع آب آزاد در سطح خاک ممکن است بارندگی، ذوب برف و یا آبیاری باشد.

نفوذ آب در خاک

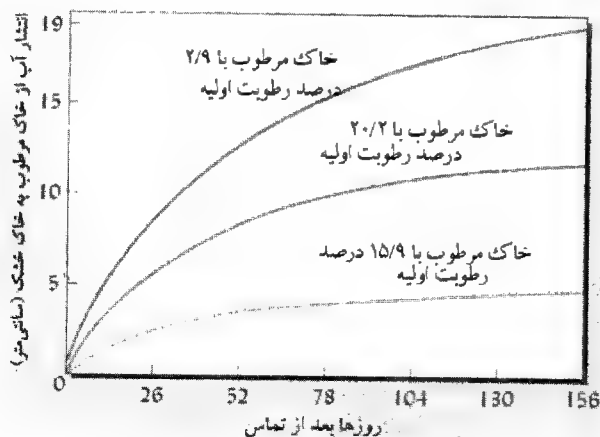
فرایندی که طی آن آب وارد منافذ خاک شده و به آب خاک تبدیل می‌گردد، نفوذ نامیده می‌شود و میزان آبی که می‌تواند وارد خاک شود ظرفیت نفوذ^۳ (I) نام دارد که با رابطه $I = Q/A \cdot t$ بیان می‌شود. در این رابطه Q عبارتست از حجم (m³) آب نفوذ یافته، A عبارتست از سطح مقطع خاک در معرض نفوذپذیری و t عبارتست از زمان (ثانیه)، از آن‌جاکه m³ در صورت کسر و m² در مخرج که ظاهر می‌شود،

1 - Infiltration

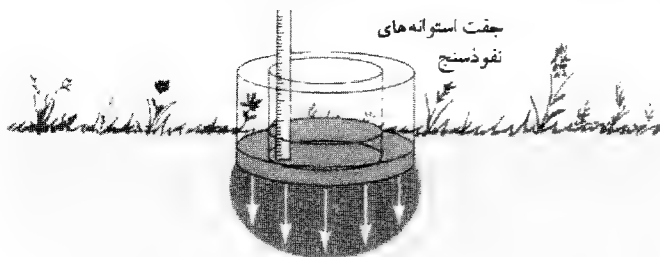
2 - Percolation

3 - Infiltration Capacity

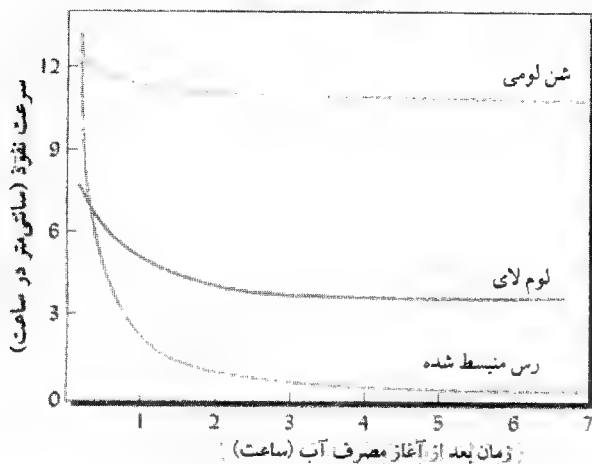
واحد نفوذپذیری می‌تواند به m/s و یا به‌طور بسیار معمول، cm/h بیان شود. ظرفیت نفوذ طی زمان ثابت است و معمولاً در طی یک آبیاری و یا حادثه‌ای بارندگی کاهش می‌یابد. اگر هنگام شروع نفوذ، خاک کاملاً خشک باشد تمام منافذ درشت باز در سطح برای هدایت آب به‌داخل خاک آماده می‌باشند. در خاک‌های دارای رس‌های انبساط‌پذیر میزان نفوذپذیری اولیه ممکن است به‌دلیل ورود آب به‌داخل شبکه ترک‌ها مخصوصاً بالا باشد. هرچند با پیشرفت نفوذ بسیاری از منافذ درشت با آب پر شده و ترک‌های حاصل از انقباض بسته می‌شوند. ظرفیت نفوذ در ابتدا به‌شدت کاهش یافته و نهایتاً ثابت شده و از آن به‌بعد تقریباً ثابت می‌ماند (شکل ۵-۲۴)



شکل ۵-۲۳ میزان حرکت آب از یک خاک مرطوب در سه سطح رطوبتی به یک خاک خشک‌تر. هرچه خاک مرطوب‌تر باشد شیب حاصل بیشتر بوده و تحویل آب سریع‌تر خواهد بود. تعادل آب در بین دو خاک نسبتاً خیس با همان میزان رطوبت فوق‌العاده کند می‌باشد.



شکل ۵-۲۴ شدت ورود آب به‌داخل خاک و یا ظرفیت نفوذ می‌تواند با ثبت سطح پایین آمدن آب در دستگاه نفوذسنج استوانه‌ای مضاعف (شکل بالا) اندازه‌گیری شود. تغییرات در میزان نفوذ چندین خاک در طول یک دوره‌ی افزایش آب به‌وسیله‌ی باران و یا آبیاری نشان داده شده است (پایین عکس). که معمولاً آب به‌داخل خاک خشک ابتدا سریع وارد می‌شود و با اشباع خاک میزان نفوذ کاهش می‌یابد. کاهش برای خاک‌های خیلی شنی با منافذ درشت، که تحت تأثیر پایداری ساختمان و یا انقباض رس قرار ندارند حداقل است. برعکس ممکن است در یک خاک حاوی رس خیلی انبساط‌پذیر وقتی که ترک‌های عریض آن‌ها باز است دارای نفوذپذیری اولیه بالایی باشد، اما وقتی رس در اثر جذب آب منبسط شده و ترک‌های آن مسدود گردید، نفوذپذیری بسیار کم می‌باشد. نفوذپذیری اکثر خاک‌ها در بین این دو حد واقع است، مشابه آنچه است که در شکل در مورد سیلت لومی نشان داده شده است.



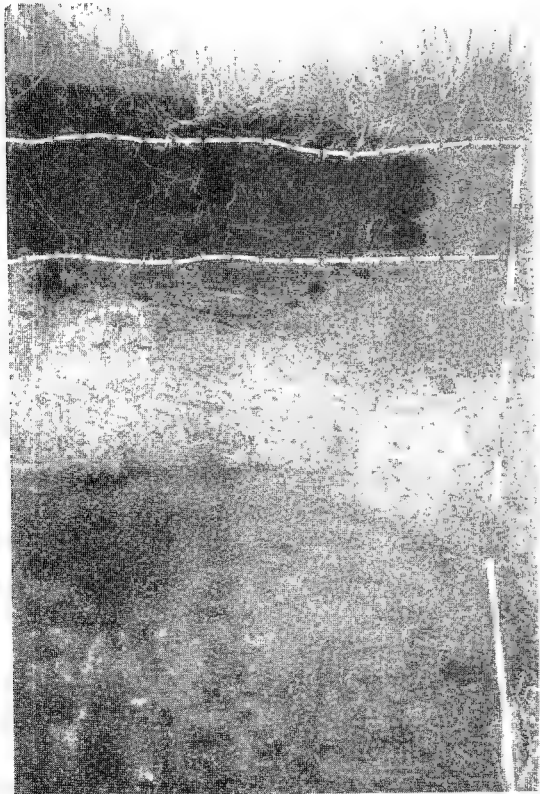
اندازه‌گیری نفوذپذیری

همانند هدایت آبی، ظرفیت نفوذ خصوصیت انحصاری هر خاک بوده و عمدتاً وابسته به بافت و ساختمان در سطح خاک است، اما بستگی به حضور لایه‌ی محدودکننده‌ی نفوذ آب در داخل خاک‌رخ نیز دارد. ظرفیت نفوذ هر خاک ممکن است به آسانی با استفاده از وسیله‌ای به‌نام استوانه‌ی مضاعف اندازه‌گیری شود. دو استوانه سنگین فلزی که یکی از نظر قطر کوچک‌تر است مقداری به‌داخل خاک رانده می‌شود به‌طوری‌که استوانه‌ی کوچک‌تر در داخل استوانه‌ی بزرگ‌تر قرار گیرد (شکل ۵-۲۴ را مشاهده کنید). لایه‌ای از کرباس در داخل

استوانه‌ها برای ممانعت از به‌هم‌خوردن سطح خاک قرار داده شده و آب در دو استوانه ریخته می‌شود. عمق آب در سیلندر داخلی (یا نفوذ آب) در زمان‌های مختلف اندازه‌گیری و ثبت می‌شود. آب نفوذ کرده در استوانه خارجی اندازه‌گیری نمی‌شود، اما تضمین می‌کند که خاک در اطراف نیز به‌طور مشابه مرطوب بوده و حرکت آب از استوانه داخلی اصولاً قایم بوده و افقی نمی‌باشد.

نفوذ عمقی

نفوذ آب به‌داخل خاک یک پدیده‌ی انتقالی بوده که در خاک روی می‌دهد. وقتی آب در داخل خاک نفوذ کرد، آب از داخل خاک‌رخ به‌طرف پایین بر اثر فرایندی که نفوذ عمقی نام دارد حرکت می‌کند. هردو جریان اشباع و غیراشباع در نفوذ عمقی آب در داخل خاک‌رخ دخالت دارند و میزان نفوذ عمقی در ارتباط با هدایت آبی خاک می‌باشد. در مورد آبی که در داخل یک خاک نسبتاً خشک نفوذ کرده است، میزان پیشرفت حرکت آب به‌وسیله‌ی رنگ سیاه خاک که با مرطوب شدن به‌وجود می‌آید قابل مشاهده می‌باشد (شکل ۲۵-۵). معمولاً به‌نظر می‌رسد که یک مرز مشخص که جبهه‌ی رطوبتی نامیده می‌شود بین خاک خشک زیرین و خاکی که قبلاً مرطوب شده است وجود داشته باشد. (شکل ۲۶-۵ را مشاهده کنید) در طول یک باران شدید و یا آبیاری سنگین حرکت آب در نزدیکی سطح خاک معمولاً بر اثر جریان اشباع در پاسخ به ثقل انجام می‌گیرد. در جبهه‌ی رطوبتی حرکت آبی به‌داخل خاک زیرین خشک‌تر در پاسخ به شیب پتانسیل ماتریک و همین‌طور ثقل انجام می‌گردد. در طول یک بارش سبک، نفوذ و نفوذ عمقی هر دو ممکن است عمداً بر اثر جریان غیراشباع انجام گیرد. چون آب بدون تجمع آب در سطح خاک و یا درون منافذ درشت به‌وسیله‌ی نیروی ماتریک به‌داخل منافذ ریز کشیده می‌شود.



شکل ۲۵-۵ جبهه رطوبتی ۲۴ ساعت به‌دنبال ۵ سانتی‌متر باران. برداشت آب به‌وسیله‌ی ریشه گیاهان سبب خشک شدن خاک ۸۰-۷۰ سانتی‌متر فوقانی خاک‌رخ در یک منطقه‌ی مرطوب (آلاباما) در طول سه هفته‌ی خشک قبلی شده است. مرزی کاملاً آشکار از تغییرات شدید رطوبت خاک در جبهه‌ی رطوبتی بین خاک خشک روشن‌تر و خاک تیره‌تر از نفوذ عمقی آب حاصل شده است. سرشت موج جبهه رطوبتی در این خاک طبیعی مزرعه دلیل عدم تجانس در اندازه‌های منافذ می‌باشد. مقیاس به‌صورت دسی مترهای متوالی است

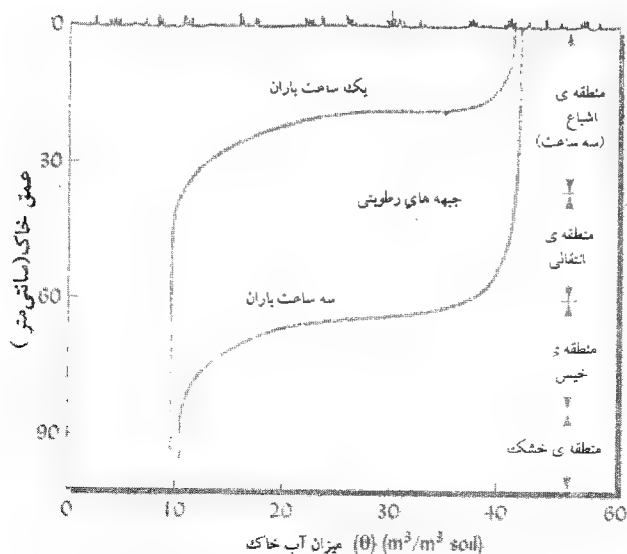
حرکت آب در خاک‌های مطبق

این واقعیت که در جبهه‌ی رطوبتی آب به‌وسیله‌ی جریان غیراشباع حرکت می‌کند، مشخص می‌نماید که آب در نفوذ عمقی در صورت مواجهه با یک تغییرات شدید در اندازه‌ی منافذ چگونه عمل می‌کند. در مزرعه بسیاری از خاک‌رخ‌ها دارای لایه‌های زیر سطحی با منافذی می‌باشند که با لایه‌های مجاور در خاک‌رخ در تضاد آشکارند. مثال‌های معمول شامل افق‌های نسبتاً غیرقابل نفوذ مانند فراجی‌پن^۱ و کلی‌پن^۲

۱ - Fragipan

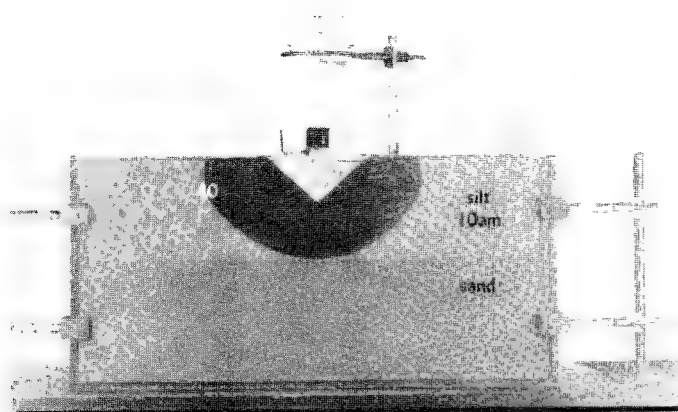
۲ - Claypan

و لایه‌های بافت درشت مانند عدسی‌های شن^۳ و سنگ‌ریزه می‌باشند در بعضی موارد ممکن است چنین نندی در منافذ به وسیله مدیران خاک ایجاد شود، مثلاً وقتی بقایای درشت گیاهی در یک لایه بر اثر شخم برگردانده شود و یا یک لایه سحرریزه در زیر یک لایه ریزبافت در یک محفظه کشت قرار داده شود. در تمام موارد اثر بر روی نفوذ عمقی آب مشابه بوده و آن، محدودیت حرکت به سمت پایین است، هرچند سازوکار عامل اصلی متفاوت باشد. جای تمعجب نخواهد بود که آب در نفوذ عمقی هنگام رسیدن به منافذ ریز که دارای ضریب آب‌گذری کمتر است سرعت آن به مقدار قابل توجهی کاسته شود. ولی ممکن است این واقعیت، که منافذ درشت‌تر به طور موقت سبب توقف حرکت آب شوند آشکار نباشند.

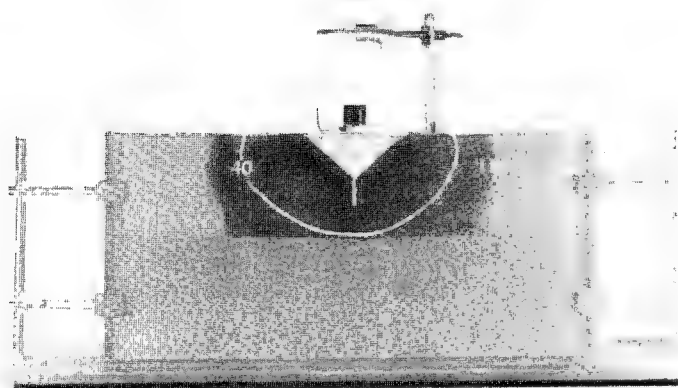


شکل ۲۶-۵ نفوذ آب به داخل یک خاک نسبتاً خشک بعد از یک و سه ساعت باران مداوم. جبهه‌ی رطوبتی بیانگر نفوذ عمقی آب است. بعد از سه ساعت ۳۰ تا ۴۰ سانتی‌متر بالایی خاک به وسیله‌ی آب اشباع شده است. یک منطقه‌ی انتقالی تقریباً نزدیک اشباع در بالای جبهه‌ی رطوبتی وجود دارد که خود آن نیز در بالای منطقه خشک قرار گرفته است.

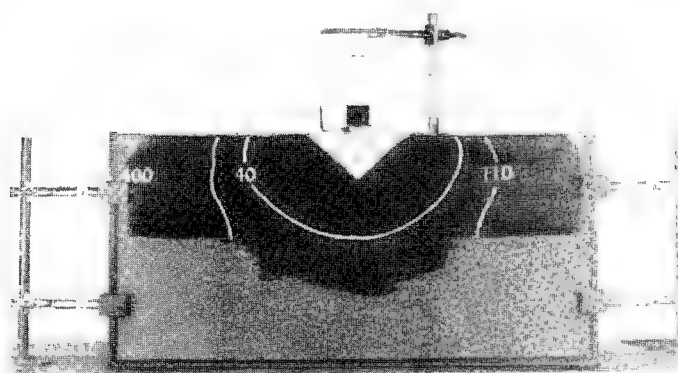
در شکل ۲۷-۵ یک لایه شن درشت مانع حرکت آب از یک لایه خاک بافت ریز فوقانی به پایین شده است، به طور ظاهری ممکن است شخص انتظار داشته باشد که لایه شن به جای ممانعت از حرکت، سبب تسریع نفوذ عمقی گردد. ولی این لایه به خاطر این که منافذ درشت شن تمایل کمتری برای جذب آب در مقایسه با منافذ ریز مواد فوقانی بروز می‌دهند برعکس عمل می‌کند. بنابراین وقتی جبهه رطوبتی غیراشباع به لایه شن می‌رسد پتانسیل ماتریک در لایه فوقانی کمتر از لایه شن است و از آنجا که آب از پتانسیل بالا به پتانسیل پایین حرکت می‌کند (که در آنجا محکم‌تر نگه داشته شود) نمی‌تواند به سرعت وارد شن گردد، نهایتاً آب در حال حرکت به پایین در روی لایه شن تجمع پیدا کرده و تقریباً سبب اشباع منافذ در فصل مشترک خاک و شن خواهد شد (پتانسیل ماتریک در جبهه‌ی رطوبتی به حدود صفر می‌رسد) در صورت تحقق این امر، آب به وسیله‌ی خاک ریز چنان با سستی نگهداری می‌شود که نیروهای ثقلی قادرند آنرا به داخل لایه شنی بکشانند. مسأله‌ی قابل توجه وجود یک لایه‌ی درشت شنی بر عکس در روی یک لایه بافت ریز خاک از صعود آب از لایه‌ی مرطوب زیری به سطح خاک ممانعت خواهد کرد، موقعیتی که با برگردان شکل ۲۷-۵ قابل تشریح می‌باشد. منافذ بزرگ در لایه بافت درشت قادر به تداوم صعود مویینه از منافذ کوچک‌تر خاک بافت ریز زیرین نخواهند بود. در نتیجه آب در اثر مویینه تا لایه بافت درشت بالا آمده اما نمی‌تواند از این لایه برای لایه‌های فوقانی رطوبت فراهم کند. بنابراین، گیاهان کاشته شده در بعضی از خاک‌ها با عدسی‌های شن در لایه‌های زیرین در معرض خشکی قرار می‌گیرند زیرا قادر نخواهد بود که از این لایه آب استخراج کنند. این اصول امکان می‌دهد که یک لایه سنگ‌ریزه درشت (بلوکاز) به صورت یک مانع مویینه در زیر یک کف بتنی برای ممانعت از بالا آمدن آب لایه خاک زیرین از داخل کف بتنی عمل کند. این واقعیت که لایه‌های بافت درشت (سنگ‌ریزه، شن، مواد آلی، و پشم شیشه) می‌توانند از حرکت روبه بالا و روبه پایین جریان غیراشباع ممانعت کنند در استفاده از این مواد برای ظروف گلدانی و یا طرح زه‌کشی (فصل ۹-۹ را مشاهده کنید). باید در نظر گرفته شود. برای نمونه، لایه‌بندی به خاطر ممانعت از حرکت رو به پایین به طور قابل توجهی در میزان آب نگهداری شده به وسیله‌ی لایه‌های فوقانی یک مزرعه مؤثر است. یک لایه متفاوت به عنوان یک مانع رطوبتی عمل می‌کند تا این که میزان آب محتوی آن افزایش یابد. این حالت ممکن است منجر به میزان رطوبت بسیار بالاتر در مزرعه در مقایسه با خاک‌های دارای زه‌کشی مناسب در شرایط عادی گردد.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۵-۲۷ حرکت رو به پایین آب در خاک‌ها با یک لایه از مواد درشت. (الف) آب به سطح یک خاک بافت متوسط داده می‌شود. توجه کنید بعد از ۴۰ دقیقه حرکت رو به پایین از حرکت جانبی بیشتر نیست و بیانگر آن است که در این جا اثر نیروی ثقل در مقایسه با شیب پتانسیل ماتریک بین خاک خشک و مرطوب قابل توجه نیست. (ب) در صورت مواجهه با یک لایه بافت درشت حرکت رو به پایین متوقف می‌شود. بعد از ۱۱۰ دقیقه هنوز حرکتی به داخل لایه سنی صورت نگرفته است. منافذ درشت سنی تمایل کمتری برای جذب آب در مقایسه با خاک بافت ریز قوفانی دارند. فقط وقتی میزان آب خاک (در نتیجه شیب پتانسیل ماتریک) به طور کافی افزایش یافت آب به داخل لایه سنی حرکت خواهد کرد. (ج) بعد از ۴۰۰ دقیقه میزان آب لایه ی فوقانی به مقدار کافی افزایش می‌یابد و سبب ایجاد پتانسیل حدود ۱ Kp - و بیشتر شده و حرکت رو به پایین در داخل مواد بافت درشت صورت می‌گیرد.

۵-۷ حرکت بخار آب در خاک

دو نوع حرکت بخار آب در داخل خاک‌ها انجام می‌گیرد. حرکت رطوبت در داخل خاک^۱ و حرکت رطوبت به خارج خاک. حرکت درونی در داخل خاک و در منافذ آن صورت می‌گیرد، حرکت بیرونی در سطح خاک صورت گرفته و آب به صورت بخار بر اثر تبخیر سطحی از بین می‌رود (بخش ۶-۶ را مشاهده کنید) بخار آب در اثر اختلاف در فشار بخار از یک نقطه به نقطه دیگر حرکت می‌کند. بنابراین، بخار آب از خاک مرطوب که هوای آن ۱۰۰٪ از بخار آب اشباع شده است (فشار بخار زیاد) به خاک خشک که فشار بخار آن

۱ Internal movment

۲ External movment

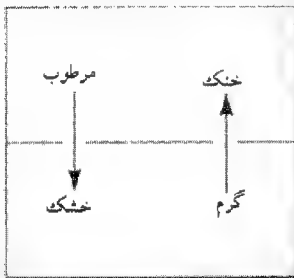
کمی کمتر است جریان می یابد بخار آب همچنین از منطقه ای که دارای نمک کم به منطقه ای که دارای نمک زیاد است حرکت می کند (در اطراف یک کود دانه ی شیمیایی)، نمک سبب پایین آوردن فشار بخار آب شده و سبب حرکت بخار آب از خاک اطراف به آن جا می گردد. اگر دمای یک بخش از خاک مرطوب یکنواخت، پایین بیاید فشار بخار کاهش یافته و فشار بخار تمایل خواهد داشت که به سمت این نقطه سرد حرکت کند. گرم کردن اثر مخالفی دارد زیرا گرم کردن سبب افزایش فشار بخار گشته و بخار آب از منطقه گرم شده به پیرون حرکت خواهد کرد. شکل ۲۹-۵ این روابط را نشان می دهد.

مقدار واقعی بخار آب در رطوبت بهینه برای رشد گیاهان به طور شگفت انگیزی اندک می باشد. این مقدار شاید بیشتر از ۱۰ لیتر در ۱۵ سانتی متر بالایی در یک هکتار خاک لوم سیلنی نباشد. در مقایسه آب مایع در همان خاک ۶۰۰/۰۰۰ لیتر در همان حجم خاک خواهد بود. به خاطر این که میزان بخار آب اندک است، حرکت آن در خاک ها اگر رطوبت خاک نزدیک رطوبت بهینه برای رشد گیاه باقی بماند، دارای اهمیت عملی محدودی می باشد. هر چند در خاک های خشک حرکت بخار آب ممکن است دارای اهمیت قابل ملاحظه ای برای گیاهان بیابانی مقاوم به خشکی (زورفیت ها) باشد که بسیاری از آن ها در مقادیر بسیار پایین رطوبت خاک موجودند. برای نمونه در شب، افق سطحی یک خاک بیابانی ممکن است به اندازه ی کافی برای انجام حرکت بخار به طرف لایه های بالایی سرد شود، در صورت بستگی سرد شدن ممکن است بخار بر اثر میعان به صورت دانه های شبنم در داخل منافذ خاک در آمده و سبب فراهم کردن آب برای بقای گیاهان خشکی پسند گردد.

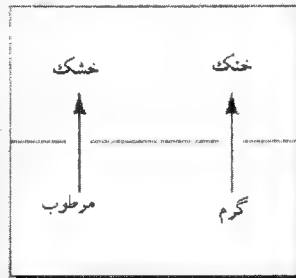


شکل ۲۸-۵ یکی از نتایج لایه های خاک با بافت متضاد. این خاک در ایالت کارولینای شمالی دارای حدود ۵۰ سانتی متر مواد شن لومی دشت های ساحلی بر روی لایه های عمیق تر مواد لوم رسی سیلنی حاصل از دشت دامنه ای می باشد. آب باران به سرعت از افق های شنی سطحی نفوذ کرده اما حرکت رو به پایین آن در لایه های دارای بافت ریزتر متوقف گشته و سبب ایجاد شرایط اشباع در نزدیک سطح و رفتار شبیه شن سیال می شود.

افق خاک



(الف)



(ب)

شکل ۲۹-۵ تمایل حرکت قابل انتظار بخار آب در بین افق های خاک با رطوبت و دمای متفاوت. در (الف) تمایلات حرکت کم و بیش یکدیگر را خنثی می کنند، اما در (ب) این تمایلات هم آهنگ بوده و سبب انتقال بخار آب به مقدار قابل ملاحظه ای خواهد بود، اگر آب مایع در منافذ مویینه ی خاک دخالت نکنند

۸-۵ تشریح کیفی خیس بودن خاک

اندازه گیری پتانسیل آب خاک و رفتار قابل مشاهده ی آب خاک همیشه وابسته به بخشی از آن است که در دورترین فاصله از سطح ذرات قرار داشته و بنابراین دارای بالاترین پتانسیل می باشد. وقتی یک خاک از حالت اولیه اشباع خشک می شود هم کل خاک و هم آب آن وارد

یک گروه از تغییرات تدریجی در رفتار فیزیکی، و در روابط با گیاهان می‌شوند. این تغییرات عمدتاً ناشی از این واقعیت است که رقتی پتانسیل آب عمدتاً به وسیله‌ی عمل نیروهای ماتریک کاهش می‌یابد؛ آب باقی‌مانده در خاک در حال خشک‌شدن، در منافذ کوچک‌تر و در لایه‌های نازک‌تر یافت می‌شود. پتانسیل ماتریک بنابراین بخش اعظم پتانسیل کل آب خاک بحساب می‌آید درحالی‌که بخش مربوط به پتانسیل ثقلی کاهش می‌پذیرد.

برای مطالعه این تغییرات و معرفی واژه‌هایی که به‌طور معمول برای تشریح درجات مختلف خیس‌بودن خاک به‌کار می‌روند. وضعیت رطوبت و انرژی آب را در طول یک باران سنگین و یا آبیاری و به‌دنبال آن‌ها. تعقیب می‌کنم. واژه‌هایی که باید معرفی شوند مراحل مختلف را در طول یک زنجیره‌ی خیس‌شدن تشریح نموده و نباید بدین منظور تفسیر گردد که آب خاک در اشکال مختلف وجود دارد، از آن‌جاکه این واژه‌ها اساساً کیفی بوده و فاقد اساس دقیق علمی می‌باشند. بعضی از دانشمندان فیزیک خاک از استعمال آن‌ها اکراه دارند. هرچند حذف آن‌ها از این کتاب کم‌لطفی بسیاری به خواننده می‌باشد، زیرا آن‌ها به‌طور گسترده‌ای در مدیریت عملی خاک مورد استفاده بود و در ایجاد ارتباطات در مورد حقایق مهم در مورد رفتار آب خاک مورد استفاده می‌باشند.

بیشینه ظرفیت نگهداری

وقتی تمام منافذ خاک به وسیله‌ی آب ناشی از بارندگی و یا آبیاری مملو می‌گردند، گفته می‌شود که خاک از آب اشباع شده است (شکل ۳۰-۵) و در بیشینه ظرفیت نگهداری قرار دارد. پتانسیل ماتریک نزدیک صفر بوده و تقریباً همانند آب خالص است. میزان آب حجمی اساساً مساوی تخلخل کل است. خاک تا مادامی‌که نفوذ آب در آن تداوم داشته باشد در بیشینه ظرفیت نگهداری خود باقی خواهد ماند، زیر آب در درشت‌ترین منافذ (بعضی مواقع آب ثقلی^۱ نامیده می‌شود) عمدتاً تحت تأثیر نیروهای ثقل (پتانسیل‌های ایستابی و ثقلی) به‌طرف پایین نفوذ می‌کند. طی نفوذ عمقی سرعت آب عمدتاً بر اثر نیروهای اصطکاکی همراه گرانشی کاهش خواهد یافت. از آن‌جاکه گرانشی آب با افزایش دما کاهش می‌یابد (آب به‌نظر می‌رسد نازک‌تر شده) در خاک‌های گرم‌تر زه‌کشی سریع‌تر است. اطلاعات مربوط به حداکثر ظرفیت نگهداری و متوسط عمق خاک در یک حوزه آبخیز برای برآورد مقدار آب باران ذخیره شده موقتی در خاک مفید می‌باشد و بنابراین احتمالاً از طغیان‌ها در پایاب رودخانه جلوگیری خواهد شد.

ظرفیت مزرعه^۲

وقتی بارندگی و یا آبیاری متوقف می‌شود آب در منافذ درشت خاک در پاسخ به شیب آبی (عمدتاً ثقل) به‌سرعت به‌طرف پایین خاک‌رخ زه‌کشی می‌شود، بعد از یک تا ۳ روز وقتی نیروهای ماتریک نقش عمده‌تری در حرکت آب باقی‌مانده به‌عهده می‌گیرند، این حرکت سریع قابل‌اغماض خواهد بود (شکل ۳۱-۵). در آن زمان گفته می‌شود که خاک در ظرفیت مزرعه خود می‌باشد. در این شرایط آب از منافذ درشت خارج گردیده و هوا جایگزین آن شده است. ریز منافذ و یا منافذ مویینه هنوز مملو از آب بوده و می‌توانند آب مورد نیاز گیاهان را فراهم کنند. پتانسیل ماتریک خاک به خاک به‌مقدار کمی تغییر می‌کند اما با فرض انجام زه‌کشی به‌داخل منطقه‌ی دارای رطوبت کم با تخلخل مشابه^۳، معمولاً در دامنه ۱۰- تا ۳۰- کیلوپاسکال می‌باشد. حرکت آب به وسیله‌ی جریان غیراشباع تداوم خواهد داشت، اما میزان حرکت بسیار کند می‌باشد زیرا جریان حال عمدتاً ناشی از نیروهای مویینه می‌باشد که فقط در منافذ ریز مؤثر می‌باشد (شکل ۳۰-۵). آب موجود در منافذ چنان کوچک، که بتواند آنرا در مقابل زه‌کشی ثقلی سریع نگهداری نموده اما در عین حال چنان بزرگ که امکان جریان مویینه را در پاسخ به شیب پتانسیل ماتریک فراهم سازد، این آب بعضی مواقع آب مویینه^۴ نامیده می‌شود.

درحالی‌که تمام آب خاک تحت تأثیر ثقل می‌باشد، واژه‌ی آب ثقلی مربوط به بخشی از آب خاک است که به آسانی در فاصله حداکثر ظرفیت نگهداشت و ظرفیت مزرعه زه‌کشی می‌شود. اکثر آبشویی داخلی خاک^۵ به‌صورت آب ثقلی انجام می‌گیرد که از منافذ درشت قبل از رسیدن به ظرفیت مزرعه زه‌کش می‌شود. آب ثقلی بنابراین شامل بیشتر آبی می‌باشد که مواد شیمیایی مانند ین‌های غذایی، آفت‌کش‌ها، و آلاینده‌های آلی را به‌داخل آب زیرزمینی و نهایتاً به‌داخل رودخانه‌ها حمل می‌کنند.

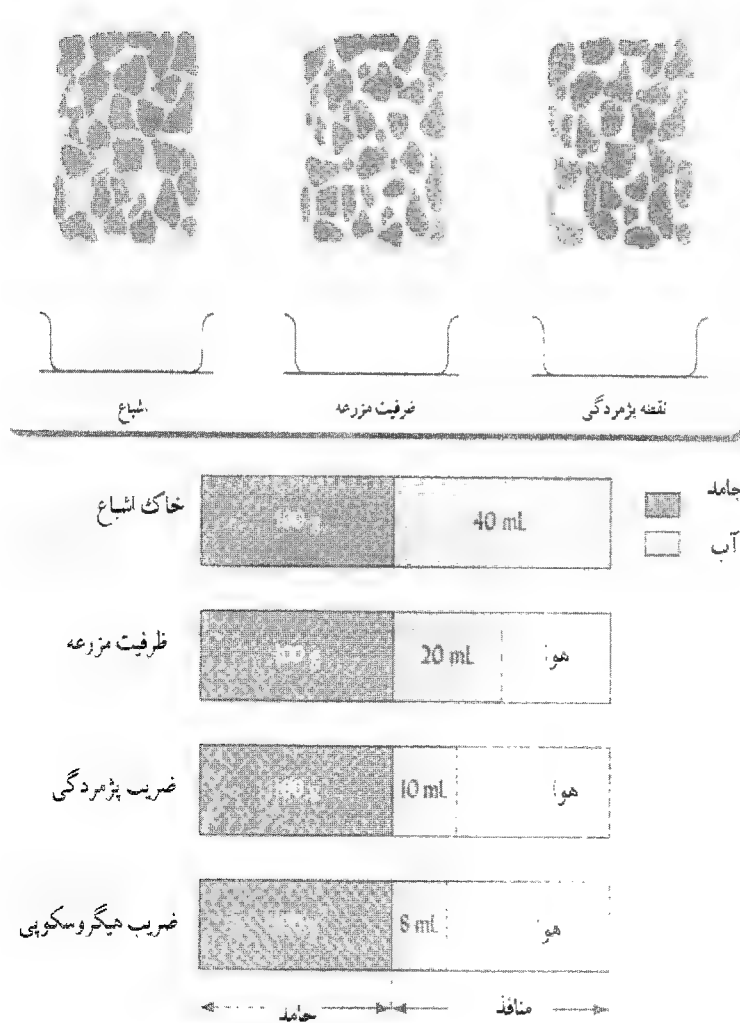
^۱ - Gravitational water

^۲ - Field capacity

^۳ - توجه کنید به خاطر رابطه‌ی مربوط به حرکت در خاکهای مطبق (بخش ۶-۵) زه‌کشی در خاک یک گلدان وقتی هنوز مرطوب‌تر از ظرفیت مزرعه است متوقف می‌شود.

^۴ - Capillary water

^۵ - Soil leaching



شکل ۳۰-۵ حجم آب و هوای همراه با ۱۰۰ گرم خاک لوم سیلنی دارای دانه بندی خوب در سطوح مختلف رطوبتی. ردیف بالا وضعیت را نشان می دهد که خاک مورد نظر کاملاً از آب اشباع شده باشد، این وضعیت معمولاً برای مدت کوتاهی در انثای بارندگی و یا انجام آبیاری برقرار است. آب به زودی از منافذ درشت خالی شده و گنجه می شود خاک در ظرفیت مزرعه می باشد. گیاهان رطوبت را از خاک به سرعت برداشت نموده تا این که شروع به پژمردگی کنند، وقتی که پژمردگی دائمی در گیاهان انجام گیرد، می گویند رطوبت خاک در حد ضریب پژمردگی است. در این حال هنوز رطوبت قابل توجهی در خاک موجود است، اما با شدت بسیار زیادی نگاهداری شده و قابل جذب به وسیله گیاهان نمی باشد. کاهش بیشتر رطوبت تا حد ضریب نم گیری در ردیف آخر تشریح شده است و در این حال آب با شدت بسیار بیشتری، عمدتاً به وسیله کلویسدهای خاک نگاهداری شده است.

ظرفیت مزرعه واژه ای بسیار مفید است. زیرا دلالت بر میزان خسی تقریبی خاک دارد که در آن چندین ویژگی مهم خاک در حال گذراست: ۱- در ظرفیت مزرعه خاک حداکثر آب قابل استفاده را برای گیاهان نگهداری می کند. آب اضافی که با انرژی کمتری نگهداری می شود دارای استفاده محدودی برای گیاهان است، زیرا قبل از زه کشی زمان کوتاهی در خاک باقی می ماند. این آب در داخل خاک در منافذ درشت قرار داشته، بنابراین سبب کاهش تهویه می شود. زه کشی آب ثقیل معمولاً لازمی رشد بهینه نبات است (نباتات آب دوست مثل برنج و لولی استثناء می باشند).

۲- در ظرفیت مزرعه خاک نزدیک حد پایین شکل پذیری می باشد و آن بدین معنی است که خاک در رطوبت کمتر از ظرفیت مزرعه به صورت شبه جامد شکننده، و در رطوبت بالاتر از ظرفیت مزرعه به صورت ماده شکل پذیر بتونه ماند، که به آسانی به گل تبدیل می شود. عمل می کند (بخش ۹-۴ را مشاهده کنید)، بنابراین ظرفیت مزرعه به طور تقریبی بیانگر رطوبت بهینه برای خاک ورزی و کندن خاک است.

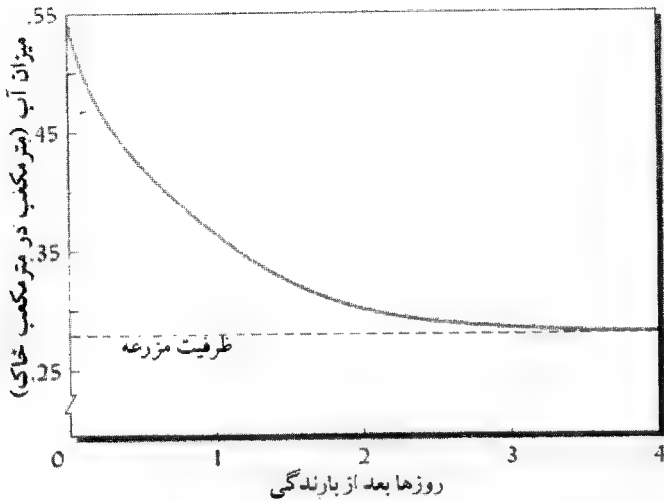
۳- در ظرفیت مزرعه حجم کافی منافذ مملو از هوا می باشد که امکان تهویه را برای فعالیت میکروبی هوازی و برای رشد اکثر گیاهان امکان پذیر می سازد

درصد پژمردگی دائم یا ضریب پژمردگی^۱

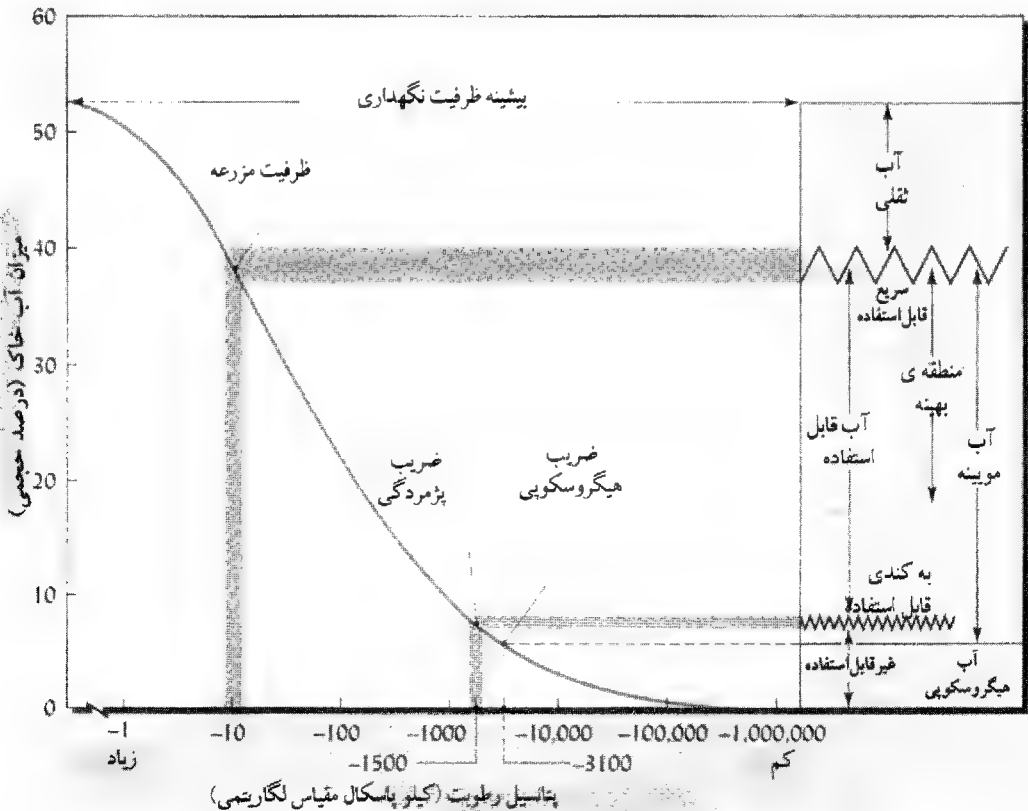
وقتی یک خاک بدون گیاه تا رسیدن به ظرفیت مزرعه زه کشی شود. خشک شدن بیشتر کاملاً آرام است، به خصوص اگر سطح خاک برای کاهش تبخیر دارای پوشش باشد. هر چند اگر گیاهان در خاک در حال رشد باشند آن ها آب را از منطقه انتشار ریشه بر می دارند و خاک به

^۱ - Permanent Wilting percentage or Wilting Coefficient

خشک شدن ادامه می‌دهد. ریشه گیاهان ابتدا آب را از درشت‌ترین منافذ مملو از آب که در آن‌جا پتانسیل آب نسبتاً بالا می‌باشد برداشت می‌کند. وقتی این منافذ خالی شدند، ریشه آب خود را از منافذ کوچک و کوچک‌تر و لایه‌های آب نازک‌تر که در آن‌ها پتانسیل ماتریک آب پایین‌تر بوده و نیروهای که آب را به سطح مواد جامد جذب می‌کنند بیشتر می‌باشند فراهم خواهد کرد، هرچند برای گیاهان برداشت این آب از خاک به مقدار کافی برای رفع نیازهای آن‌ها به‌طور مداوم مشکل و مشکل‌تر خواهد شد.



شکل ۳۱- میزان آب خاک بر اثر زه‌کشی، به دنبال اشباع خاک به وسیله بارندگی یا آبیاری به سرعت کاهش می‌یابد. بعد از دو یا سه روز میزان خروج آب از خاک کاملاً آهسته گردیده و گفته می‌شود که خاک در حالت ظرفیت مزرعه است.



شکل ۳۲- پتانسیل ماتریک یک خاک لومی در رابطه با واژه‌های به کار رفته برای تشریح آب در خاک. خطوط موجی در تصویر در سمت راست مطرح می‌سازد که اندازه‌گیری‌هایی مانند ظرفیت مزرعه فقط تقریبی می‌باشد. تغییر تدریجی در پتانسیل با تغییرات رطوبت، فرضیه اشکال مختلف رطوبت را در خاک کم‌رنگ می‌سازد. گرچه واژه‌هایی مانند ثقلی و قابل استفاده در تشریح کیفی استفاده از آب به ما کمک می‌کند

به محض خشک شدن خاک، ممکن است میزان برداشت آب به وسیله گیاه قادر به فراهم کردن نیاز گیاه نباشد و گیاهان در روز ممکن است برای حفظ رطوبت شروع به پژمرده شدن کنند. ابتدا گیاهان در شب، که آب از برگ هدر نمی رود و ریشه ها می توانند با تقاضای آب گیاه کنار بیایند، شادابی خود را حفظ می کنند. نهایتاً، وقتی ریشه نتواند پتانسیل چنان پایینی ایجاد کنند که آب باقی مانده را از خاک به دست آورد، گیاه شب و روز پژمرده باقی خواهد ماند. اگرچه هنوز گیاه نمرده است، اما حال در یک شرایط پژمردگی دایم بوده و اگر آب فراهم نشود گیاه می میرد. برای اکثر گیاهان وقتی پتانسیل ماتریک آب Ψ ، ۷-۱۵۰۰ کیلو پاسکال (۱۵- بار) باشد این شرایط ایجاد می شود. چند نبات، به ویژه گیاهان خشکی پسند (گیاهان بیابانی) می توانند به برداشت آب تا ۱۸۰۰- و یا ۲۰۰۰- کیلو پاسکال نیز ادامه دهند اما مقدار آب قابل استفاده بین ۱۵۰۰- تا ۲۰۰۰- پاسکال بسیار پایین می باشند (شکل ۳۲-۵).

به مقدار آب خاک در این مرحله ضریب پژمردگی و یا درصد پژمردگی دایم اطلاق می شود و طبق قرارداد، آن مقدار آبی است که وقتی پتانسیل آب خاک ۱۵۰۰- کیلو پاسکال است در خاک نگهداری می شود. خاک خشک گردی به نظر می رسد، گرچه مقداری آب در کوچک ترین منافذ و لایه های نازک تر (شاید فقط با ۱۰ مولکول ضخامت) در دور ذرات انفرادی (شکل ۳۰-۵ را مشاهده کنید) نگهداری می شود. همان طور که در شکل ۳۲-۵ تشریح شده است، آب قابل استفاده نبات^۱ آبی است که در خاک بین ظرفیت مزرعه و ضریب پژمردگی دایم (بین پتانسیل ۱۰- و ۳۰- کیلو پاسکال و ۱۵۰۰- کیلو پاسکال) وجود دارد. مقدار آب مویینه باقی مانده در خاک که برای گیاهان قابل استفاده نیست می تواند به خصوص، در خاک های بافت ریز و یا خاک های دارای ماده آلی زیاد بالا باشد.

جدول ۴-۵ مقدار حجمی رطوبت θ در ظرفیت مزرعه و ضریب نم گیری در سه خاک معرف و آب مویینه محاسبه شده. توجه داشته باشند که خاک رسی قسمت بیشتر آب را در ظرفیت مزرعه نگهداری می کند. اما قسمت اعظم آن آب در پتانسیل ۳۱- بار به وسیله ی کلویدهای خاک (ضریب نم گیری) نگهداری شده اند.

درصد حجمی رطوبت			
خاک	ظرفیت مزرعه ۱۰ تا ۳۰ Kpa	ظرفیت نم گیری ۳۱۰۰ kp	آب مویینه (ستون اول- دوم)
لوم شنی	۱۲	۳	۹
لوم سیلی	۳۰	۱۰	۲۰
رسی	۳۵	۱۸	۱۷

ضریب هیگروسکوپیک (جذب نم از هوا)

اگرچه ریشه های نبات معمولاً نمی توانند خاک را پایین تر از درصد پژمردگی دایم خشک کنند، اگر خاک در معرض هوا قرار گیرد کاهش آب بر اثر تبخیر ادامه خواهد یافت. وقتی رطوبت خاک به پایین تر از نقطه پژمردگی رسید، مولکول های آب باقی مانده به وسیله ی سطوح کلوییدی خاک به شدت نگهداری خواهند شد. در این حالت که هوای بالای خاک تقریباً از بخار آب اشباع است (رطوبت نسبی ۹۸ درصد) تعادل در پتانسیل ۳۱۰۰- کیلو پاسکال برقرار خواهد شد. به نظر می رسد که آب در لایه هایی به ضخامت ۴ تا ۵ مولکول دور ذرات قرار داشته و چنان محکم نگهداری می شود که به صورت غیرمایع در نظر گرفته شده و فقط می تواند به صورت بخار حرکت کند. مقدار آب خاک در این نقطه ضریب هیگروسکوپیک نامیده می شود. در خاک های دارای مواد کلوییدی (رس و هموس) زیاد در این حالت آب بیشتری از خاک های شنی که دارای رس و هموس کمتری هستند، نگهداری می کنند (جدول ۴-۵). آب غیر قابل استفاده برای نبات شامل آب هیگروسکوپیک و همین طور آب مویینه پایین تر از ۱۵۰۰- کیلو پاسکال می باشد (شکل ۳۲-۵ را مشاهده کنید).

۵-۹ عوامل مؤثر در میزان آب قابل استفاده نبات

مقدار آب قابل استفاده برای جذب گیاهان به وسیله ی عوامل چندی تعیین می شود که شامل روابط مقدار آب- پتانسیل در هرافق، اثرات مقاومت کششی و چگالی در رشد ریشه، عمق خاک، عمق ریشه و مطبق بودن و یا لایه بندی خاک می باشند، که هر کدام به اختصار تشریح می شوند.

¹ - Plant available water

پتانسیل ماتریک

پتانسیل ماتریک در مقدار رطوبتی که گیاهان می‌توانند جذب کنند مؤثر است، زیرا این پتانسیل در مقادیر آب در ظرفیت مزرعه و ضریب پژمردگی مؤثر می‌باشد. این دو خصوصیت که مقدار آب فراهم شده به وسیله یک خاک مورد نظر را برای رشد گیاهان مشخص می‌کند خود تحت تأثیر بافت، ساختمان و مقدار مواد آلی خاک می‌باشد.

تأثیر کلی بافت بر روی ظرفیت مزرعه، ضریب پژمردگی و ضریب نگهداری آب قابل استفاده در شکل ۳۳-۵ نشان داده شده است. توجه داشته باشید هرچه ریزبودن بافت خاک افزایش یابد یک افزایش کلی در ذخیره رطوبت قابل استفاده از شن‌ها به لوم‌ها و سیلت لوم‌ها حاصل خواهد شد، هر چند خاک‌های رسی معمولاً آب قابل استفاده کمتری از لوم سیلتهای خاکدانه‌ای ارایه می‌کنند، زیرا رس‌ها تمایل دارند دارای ضریب پژمردگی بالاتری باشند.

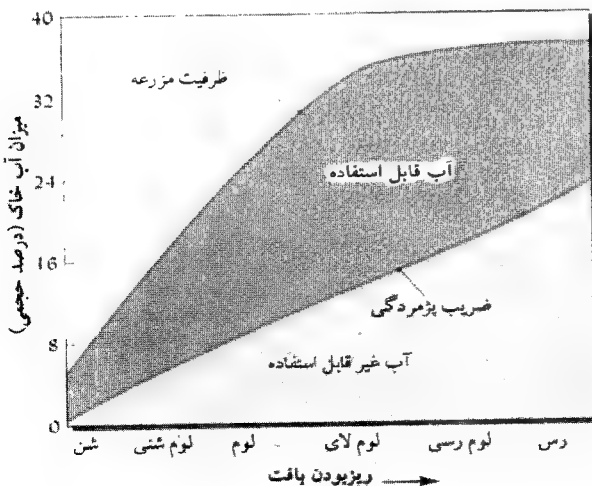
تأثیر ماده‌ی آلی در خور توجه بیشتری است، میزان رطوبت قابل استفاده یک خاک معدنی با زه‌کشی مناسب که دارای ۵٪ ماده‌ی آلی است معمولاً از خاکی مشابه که دارای ۳٪ ماده آلی است بالاتر است. بحث‌های زیادی وجود دارد که چه میزان از این اثر مطلوب مستقیماً ناشی از توانایی فراهم کردن آب ماده‌ی آلی و چه مقدار ناشی از اثرات غیرمستقیم ماده آلی بر ساختمان و کل منافذ خاک است. اکنون شواهدی در دست است که هردو عامل مستقیم و غیرمستقیم اثرات مفید ماده آلی در قابلیت استفاده آب خاک شرکت دارند.

اثرات مستقیم مربوط به ظرفیت بسیار بالای نگهداری آب به وسیله ماده‌ی آلی می‌باشد. وقتی خاک در ظرفیت مزرعه است رطوبت آن بسیار بالاتر از ماده‌ی معدنی با حجم مشابه می‌باشد. گرچه آب نگهداری شده به وسیله ماده‌ی آلی در نقطه پژمردگی نیز تا حدی بالاتر از آب نگهداری شده به وسیله مواد معدنی است، اما مقدار آب قابل استفاده برای جذب گیاه در ماده آلی بالاتر است شکل ۳۴-۵ اطلاعات مربوط به یک مجموعه از آزمایش‌های صحرایی را برای اثبات این استنباط ارائه می‌کند.

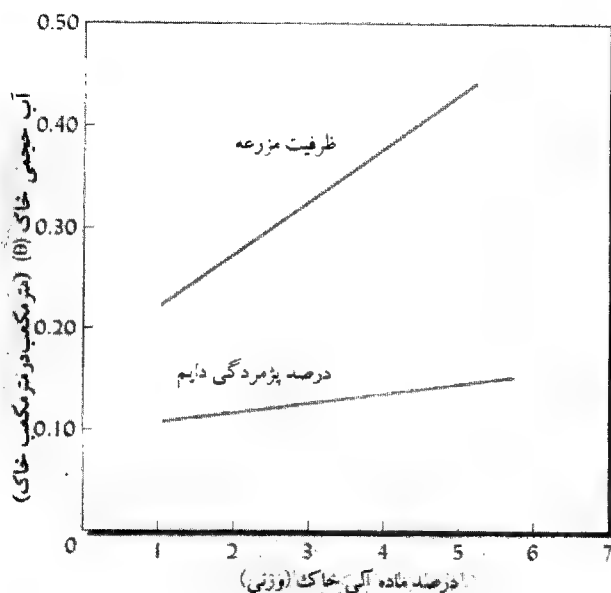
ماده‌ی آلی به طور غیرمستقیم در مقدار آب قابل استفاده از طریق تأثیر آن در ساختمان و کل منافذ مؤثر می‌باشد. ما در بخش ۷-۴ آموختیم ماده‌ی آلی باعث ثبات ساختمانی و افزایش حجم کل و همین‌طور اندازه‌ی منافذ می‌شود. این خود سبب افزایش در نفوذپذیری و ظرفیت نگهداری آب و افزایش همزمان در مقدار آب نگهداری شده در ضریب پژمردگی می‌گردد. تشخیص اثرات مفید ماده‌ی آلی بر روی آب قابل استفاده نبات برای مدیریت بخردانه‌ی خاک اساسی می‌باشد.

اثرات تراکم بر پتانسیل ماتریک، تهویه و رشد گیاهان

تراکم خاک معمولاً سبب کاهش مقدار آبی است که گیاهان می‌توانند جذب کنند. چهار عامل علت این اثر منفی به حساب می‌آیند. اول، تراکم سبب خردشدن بسیاری از منافذ درشت به منافذ کوچک‌تر خواهد شد. وقتی ذرات رس در اثر فشار به یکدیگر نزدیک شوند ممکن است مقاومت خاک به بالاتر از ۲۰۰۰ کیلوپاسکال برسد، سطحی که به عنوان محدودکننده‌ی انتشار ریشه قلمداد می‌شود. دوم، کاهش در منافذ درشت معمولاً به این معنی است که آب کمتری در ظرفیت مزرعه نگهداری می‌شود. سوم، با کاهش میزان منافذ درشت، وقتی خاک در نزدیکی ظرفیت مزرعه است منافذ تهویه‌ای کمتری وجود خواهد داشت. چهارم، ایجاد منافذ خیلی ریز بیشتر سبب افزایش ضریب پژمردگی دایم و بنابراین کاهش میزان آب قابل استفاده می‌باشد.

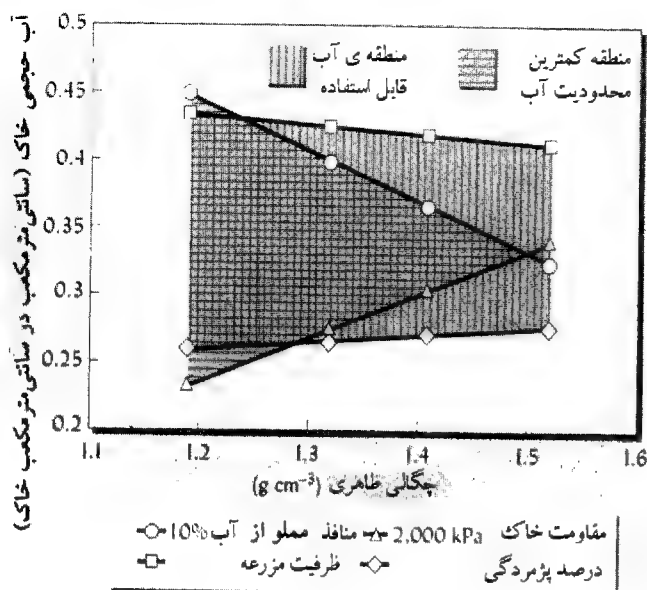


شکل ۳۳-۵ رابطه‌ی کلی بین ویژگی‌های آب خاک و بافت خاک. توجه کنید که ضریب پژمردگی هنگامی که بافت خاک ریزتر می‌شود افزایش می‌یابد. ظرفیت مزرعه تا رسیدن به لوم سیلته اضافه گردید و از آن پس ثابت می‌ماند. به خاطر داشته باشید که این منحنی‌ها برای نمونه آورده شده‌اند. هر خاکی ممکن است مقادیری متفاوت از آنچه نشان داده شده است را دارا باشند.



شکل ۵-۳۴ اثرات میزان ماده‌ی آلی بر روی ظرفیت مزرعه و ضریب پژمردگی دایم در تعدادی از خاک‌های لوم سیلنی. تفاوت در بین دو خط میزان آب قابل استفاده را نشان می‌دهد، که به‌طور آشکار در خاک‌های داری ماده‌ی آلی بالاتر زیادتر است.

چهارعامل همراه تراکم خاک درتلفیق باهم قرار گرفته‌اند تا دامنه آب قابل استفاده‌ای را که برای ریشه گیاه کمترین محدودیت را داراست تبیین کنند، همان‌طورکه برای یک لوم رسی شاخص در شکل ۵-۳۵ تشریح شده است. برای خاک‌های نسبتاً غیرتراکم اختلاف کمی بین آب قابل استفاده گیاه (ظرفیت مزرعه منهای درصد پژمردگی دایم) و دامنه‌ی کمترین محدودیت^۱ آب (بین ۱۰ درصد منافذ تهویه‌ای و مقاومت محدودکننده‌ی ریشه) موجود می‌باشد. هرچند برای یک خاک متراکم با توجه به استاندارد دوم آب قابل استفاده کمتری در نظر گرفته می‌شود. (منطقه هاشورزده در شکل ۵-۳۵)



شکل ۵-۳۵ تأثیر افزایش وزن مخصوص ظاهری بر روی دامنه آب قابل استفاده برای جذب نبات. به‌طور سستی، آب قابل استفاده گیاه آبی است که بین ظرفیت مزرعه و درصد پژمردگی نگهداری شده باشد (هاشور عمودی). اگر خاک متراکم شده باشد استفاده از آب به‌وسیله‌ی گیاه در اثر تهویه ضعیف (کمتر از ۱۰ درصد منافذ تهویه‌ای) در مقادیر آب بالا و در اثر مقاومت خاک (بیشتر از ۲۰۰۰ پاسکال) در مقادیر آب پایین که سبب کاهش انتشار ریشه می‌شود، دچار محدودیت می‌گردد. استاندارد دوم بیانگر دامنه کمترین محدودیت آب بوده و به‌وسیله‌ی هاشور افقی مشخص می‌شود. وقتی خاک متراکم نباشد (وزن مخصوص ظاهری ۱/۲۵ برای خاک تشریح شده) محدوده‌ی دو استاندارد نتایج مشابهی به‌دست می‌دهد.

پتانسیل مویینه

حضور نمک‌های محلول، چه از منابع کودهای شیمیایی و چه از ترکیبات طبیعی، می‌تواند در جذب آب به‌وسیله‌ی گیاه تأثیر بگذارد. برای خاک‌های دارای نمک زیاد تنش کل رطوبتی شامل پتانسیل مویینه ψ_0 محلول خاک و همچنین پتانسیل ماتریک ψ_m می‌باشد. پتانسیل اسمزی تمایل دارد که رطوبت قابل استفاده را در این خاک کاهش دهد، زیرا آب بیشتری در ضریب پژمردگی دایم درمقایسه با تنها پتانسیل

ماتریک در خاک نگهداری می‌شود. در خاک‌های اکثر مناطق مرطوب این اثرات پتانسیل اسمزی بی‌اهمیت است، اما برای خاک‌های به‌خصوص در مناطق خشک، که ممکن است نمک‌های محلول در اثر آبیاری و یا فرایندهای طبیعی در آن‌ها تجمع یابد دارای اهمیت قابل‌توجهی خواهد شد.

عمق خاک و لایه‌بندی

بحث ما تا حال مربوط به آب قابل‌استفاده به‌عنوان درصدی از حجم خاک، شامل منافذی بود که می‌توانند آب را در توان‌های بین ظرفیت مزرعه و درصد پژمردگی نگهدارند. کل حجم آب قابل‌استفاده وابسته به حجم کل خاک است که ریشه گیاهان از آن استفاده می‌کنند این حجم ممکن است تحت سیطره‌ی عمق کل خاک در بالای لایه‌های محدودکننده ریشه، بیشترین عمق ریشه که خصوصیت هر گونه‌ی خاص نباتی است و یا حتی اندازه گلدان انتخاب شده برای گیاهان گلدانی باشد. عمق خاک قابل‌استفاده برای کندوکاو ریشه در گیاهان ریشه عمیق از اهمیت بالایی برخوردار است به‌خصوص در مناطق نیمه‌مرطوب تا خشک که زنده‌مانی گیاهان چندساله وابسته به رطوبت ذخیره شده در خاک در طول دوره‌های طولانی بدون بارندگی می‌باشد. (شکل ۵-۱).

مطبق‌بودن و یا لایه‌بندی خاک بر آب قابل‌استفاده و حرکت آن در خاک به‌طور بارزی تأثیرگذار است. لایه‌های غیرقابل‌نفوذ میزان حرکت آب را کاهش داده و انتشار ریشه‌ی گیاهان رانیز محدود می‌کنند و در نتیجه عمق خاکی را که از آن رطوبت می‌تواند خارج گردد کاهش می‌دهند. لایه‌های شنی نیز همچنین به‌عنوان مانعی در مقابل حرکت رطوبت از طبقات فوقانی خاک دارای بافت سنگین همان‌طور که در بخش ۷-۵ و شکل ۲۷-۵ گفته شد عمل می‌کنند.

گنجایش خاک برای ذخیره آب قابل‌استفاده مفیدبودن آن‌ها را تا حدی زیادی برای رشد گیاه مشخص می‌سازد. توان تولید مناطق جنگلی اغلب مربوط به ظرفیت نگهداری آب خاک است. این ظرفیت یک یشتی‌بان بین اقلیم نامناسب و تولید گیاهی فراهم می‌سازد و در خاک‌های تحت آبیاری در تعیین دفعاتی که آب باید اعمال گردد به‌ما کمک می‌کند. ظرفیت نگهداری آب خاک هنگامی که استفاده از آب برای منظوره‌های مختلف، صنعتی و خانگی، و همین‌طور آبیاری عرضه‌ی این مهم‌ترین منبع طبیعی را زیر فشار می‌گذارند، اهمیت بیشتری پیدا خواهد کرد. برای برآورد ظرفیت نگهداری آب یک خاک، هر افق که ریشه گیاهان به آن دسترسی دارند باید جداگانه مورد ملاحظه قرار گیرد و سپس برای تعیین کل ظرفیت نگهداری خاک‌رخ با همدیگر جمع گردند (تابلو ۳-۵ را مشاهده کنید).

۱۰-۵ سازوکاری که به‌وسیله‌ی آن آب برای گیاهان فراهم می‌شود.

در هر زمان فقط بخش کوچکی از آب خاک در مجاورت سطح جذب‌کننده‌ی ریشه گیاهان قرار دارد. پس چگونه ریشه‌ی گیاهان به‌مقدار فراوان آب، که به‌وسیله‌ی گیاهان دارای سرعت رشد زیاد مصرف می‌شود، دسترسی پیدا خواهند کرد (بخش ۳-۶ را مشاهده کنید). دو پدیده را باید در این دسترسی به‌حساب آورد: حرکت مویینه‌ای آب خاک به ریشه گیاهان و رشد ریشه در داخل خاک مرطوب.

میزان حرکت مویینه

وقتی ریشه‌های فرعی گیاهان آب را جذب می‌کنند رطوبت خاک را کاهش داده و بنابراین پتانسیل آب خاک را در نزدیکی خود پایین می‌آورند (شکل ۳۶-۵ را مشاهده کنید) در پاسخ به این کاهش پتانسیل آب به‌طرف ریشه گیاهان حرکت می‌کند. میزان حرکت به بزرگی شیب پتانسیل ایجاد شده و هدایت آبی منافذ خاک بستگی دارد. در بعضی خاک‌های شنی تنظیم وضعیت در مقایسه با دیگر خاک‌ها سریع بوده و میزان جریان اگر خاک در نزدیک ظرفیت مزرعه باشد قابل‌توجه است. در خاک‌های ریزبافت و رس‌ها با دانه‌بندی نامناسب حرکت آهسته بوده و فقط مقادیر اندک آب منتقل خواهد شد. هرچند همان‌طور که در تغییرات نسبی که در هدایت آبی گفته شد (شکل ۲۲-۵)، در شرایط خشک‌تر با آب نگهداری شده در پتانسیل کمتر خاک‌های رسی قادر هستند آب بیشتر را بر اثر مویینه نسبت به خاک شنی منتقل کنند، زیرا خاک‌های شنی در این وضعیت منافذ اندکی مملو از آب دارند.

فاصله کلی که آب بر اثر حرکت مویینه در یک شبانه‌روز طی می‌کند ممکن است چند سانتی‌متر بیشتر نباشد (شکل ۳۷-۵). این ممکن است ما را به این باور برساند که حرکت آب به‌وسیله‌ی مویینه راه مطمئنی برای جذب آب به‌وسیله‌ی گیاهان نمی‌باشد، بلکه در صورت انتشار ریشه‌ها در بخش اعظم حجم خاک، به‌طوری‌که فاصله‌ی تک‌تک ریشه‌ها از چند سانتی‌متر بیشتر نباشد، حرکت آب به فاصله‌های دورتر ضرورتی نخواهد داشت. حتی در طول فواصل زمانی که رطوبت و توسعه ریشه در کمینه مقدار خود می‌باشد، این حرکت اهمیت فوق‌العاده زیادی خواهد داشت.

تابلو ۳-۵ محاسبه‌ی کل ظرفیت نگهداری آب قابل استفاده یک خاکرخ

مقدار کل آب قابل استفاده برای رشد نبات در خاک مزرعه تابعی از عمق ریشه نبات و جمع آب نگهداری شده بین ظرفیت مزرعه و درصد پژمردگی در هر افق خاک مورد کندوکاو ریشه‌ها می‌باشد. پس برای هر افق خاک ظرفیت نگهداری آب خاک به عنوان تفاوت بین جرم آب خاک 0m (مگاگرم آب در ۱۰۰ مگاگرم خاک) در ظرفیت مزرعه و درصد پژمردگی دایم برآورد می‌شود. این عدد می‌تواند با ضرب کردن در وزن مخصوص ظاهری خاک به حجم آب خاک 0 تبدیل شود. نهایتاً، این نسبت حجم در ضخامت افق برای ارایه ظرفیت آب استفاده (AWC) ضرب می‌شود برای افق اول که در جدول ۵-۵ تشریح شده است محاسبات بدین شرح است.

$$\text{سانتی متر آب قابل استفاده } 3/36 = 20 \text{ Cm} \times \frac{m^3}{\text{مگاگرم}} \times \frac{1/2 \text{ مگاگرم}}{m^3} \times \frac{8 \text{ گرم}}{100 \text{ گرم}} - \frac{22 \text{ گرم}}{100 \text{ گرم}}$$

توجه کنید که واحدها، به استثنای سانتی متر که عمق آب قابل استفاده نگهداری شده به وسیله‌ی افق مربوط است حذف می‌شوند. در جدول ۵-۵ آب قابل استفاده تمام افق‌ها در منطقه ریشه به یکدیگر افزوده شده‌اند تا آب قابل استفاده کل را در نظام خاک نبات به دست دهد. از آن‌جاکه ریشه‌ای در آخرین افق (۱-۲۵ متر) انتشار نیافته است این افق در محاسبات منظور نگردیده است. در فصل تابستان با مصرف ۵/۵ سانتی متر در روز این خاک برای چهار هفته آب تهیه می‌کند.

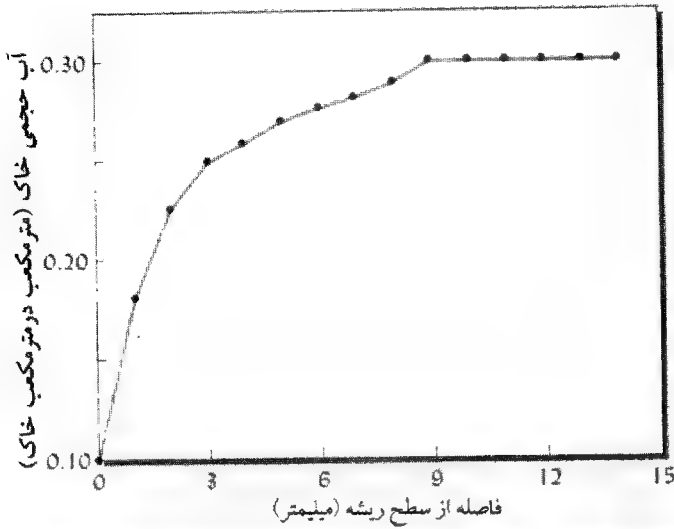
جدول ۵-۵ محاسبه ظرفیت نگهداری آب قابل استفاده خاکرخ

عمق خاک	عمق نسبی ریشه	ظاهری خاک مگاگرم بر مترمکعب	ظرفیت مزرعه FC گرم در ۱۰۰ گرم	پژمردگی WP گرم درصد گرم	ظرفیت نگهداری آب قابل استفاده AWC سانتی متر
۰-۲۰	xxxxxxxx	۱/۲	۲۲	۸	$20 \times \frac{1}{2} \frac{(22-8)}{100} = 3/36 \text{ Cm}$
۲۰-۴۰	xxxx	۱/۴	۱۶	۷	$20 \times \frac{1}{4} \frac{(16-7)}{100} = 3/52 \text{ Cm}$
۴۰-۷۵	xx	۱/۵	۲۰	۱۰	$35 \times \frac{1}{5} \frac{(20-10)}{100} = 5/52 \text{ Cm}$
۷۵-۱۰۰	xx	۱/۵	۱۸	۱۰	$25 \times \frac{1}{5} \frac{(18-10)}{100} = 3 \text{ Cm}$
۱۰۰-۱۲۵	-	۱/۶	۱۵	۱۱	ریشه‌ای موجود نیست
جمع					$3/36 + 3/52 + 5/52 + 3 = 14/13 \text{ Cm}$

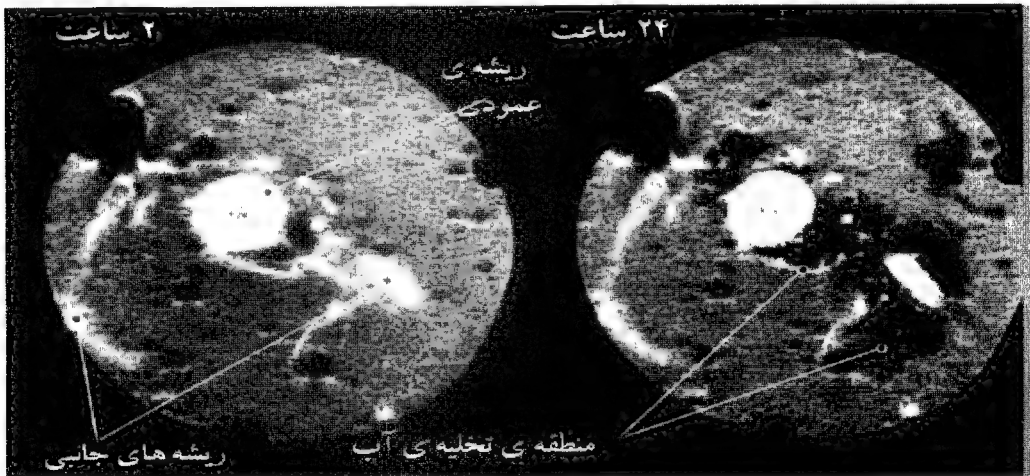
میزان توسعه‌ی ریشه‌ها

حرکت مویینه‌ی آب با توسعه سریع ریشه گیاهان تکمیل گشته و برقراری تماس ریشه‌های جدید را در خاک به طور مداوم تضمین می‌کند. انتشار و توسعه‌ی ریشه‌ها ممکن است چنان سریع باشد که تمام نیازهای گیاهان در حال رشد را در خاک دارای رطوبت بهینه فراهم کند. توده‌ی ریشه، ریشه‌های فرعی و ریشه‌های مویی در یک چمن‌زار و یا کف جنگل مثالی از سامانه بسیار فعال ریشه گیاهان می‌باشند. جدول (۵-۶) اطلاعاتی را در مورد طول ریشه‌ی سویا در یک آزمایش ارائه می‌دهد. این ارقام طول هزاران ریشه مویی را که معلوم شده است به فاصله چندین میلی متر از سطح ریشه اصلی در خاک انتشار می‌یابند، شامل نمی‌باشند.

محدودیت اصلی توسعه‌ی ریشه این است که ریشه‌ها در هر زمان با بخش کوچکی از خاک در تماس می‌باشند. اگرچه سطح ریشه‌ها همان‌طور که در جدول ۵-۶ آمده است بسیار قابل ملاحظه می‌باشند، سطح تماس ریشه و خاک معمولاً کمتر از یک درصد سطح کل خاک را تشکیل می‌دهند. و این بدان معنی است که بخش عمده‌ی آب باید از خاک به طرف ریشه حرکت کند، گرچه فاصله حرکت ممکن است از چند میلی متر بیشتر نباشد همچنین این امر تلفیق حرکت مویینه و توسعه ریشه‌ها را به عنوان وسیله‌ای برای فراهم کردن آب گیاهان مطرح می‌کند.



شکل ۳۶-۵ پایین آمدن میزان آب خاک در اطراف ریشه‌ی تربچه فقط بعد از ۲ ساعت تهرق. آب به وسیله‌ی حرکت موئینه حداقل در فاصله‌ی ۹ میلی‌متر از سطح ریشه به حرکت درآمده است.



شکل ۳۷-۵ رابطه تنگاتنگ خاک- ریشه و تخلیه‌ی سریع آب در نزدیکی ریشه در این دو تصویر تشدید ارتعاش مغناطیسی (MRI) یک لایه‌ی ۲ میلی‌متری از مقطع ۲۵ میلی‌متری یک شن مرطوب در اطراف ریشه نهال درخت کاج لابلای. (تصویر سمت چپ) یک ریشه‌ی عمودی (دایره سفید بزرگ) و ۲ ریشه‌ی چوبی جانبی (منطقه‌ی سفید دراز در سمت راست و منطقه‌ی L شکل روشن در سمت چپ) فقط ۲ ساعت پس از فراهم کردن آب. به تخلیه‌ی مقداری آب در نزدیکی ریشه‌ی اصلی توجه کنید (منطقه سیاه در سمت راست ریشه اصلی). (تصویر سمت راست) پس از ۲۴ ساعت منطقه‌ی تخلیه‌ی آب (منطقه‌ی سیاه‌رنگ در اطراف ریشه) در اطراف ریشه اصلی و ریشه جانبی سمت راست توسعه یافته است و حرکت آسان آب به سمت ریشه‌ها آشکار است.

توزیع ریشه‌ها

توزیع ریشه‌ها در خاک‌رخ، توانایی نبات را برای جذب آب تا حد زیادی معین می‌کند بیشتر گیاهان، یکساله و چندساله بیشترین حجم ریشه‌ی خود را در عمق ۳۰-۲۵ سانتی‌متری خاک‌رخ دارا می‌باشند (جدول ۷-۵). گیاهان چند ساله مانند یونجه و درختان دارای ریشه‌های می‌باشند که تا عمق خیلی زیادی (بیشتر از ۳ متر) رشد کرده و قادرند بخش اعظم رطوبت مورد نیاز خود را از لایه‌های تحت‌الارض به‌دست آورند. گرچه در این موارد نیز به‌نظر می‌رسد که در صورت فراهم کردن آب قسمت بیشتر جذب از لایه‌های فوقانی صورت گیرد. از طرف دیگر، اگر در لایه‌های فوقانی خاک کمبود رطوبت وجود داشته باشد حتی گیاهان یکساله مانند ذرت و سویا بیشترین آب مورد نیاز خود را از افق‌های پایین فراهم می‌کنند با این شرط که شرایط نامساعد فیزیکی و شیمیایی برای آن‌ها در استخراج آب از این لایه‌ها وجود نداشته باشند.

جدول ۵-۶ طول ریشه سویا در عمق‌های مختلف در خاک لوم سیلت کاپتنا (تپیک فراچی یودولت) ارکانزاس^۱

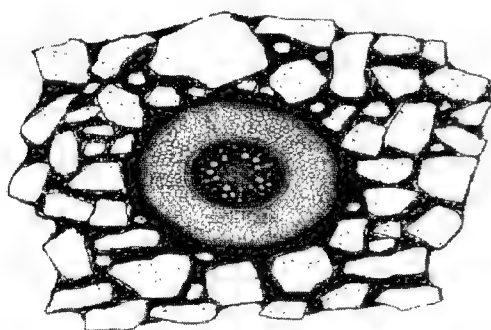
عمق خاک، سانتی متر	طول ریشه، کیلومتر در مترمکعب	
	آبیاری نشده	آبیاری شده
۰-۱۶	۷۶	۸۹
۱۶-۳۲	۳۰	۳۷
۳۲-۴۸	۲۱	۲۷
۴۸-۶۴	۱۴	۱۶

جدول ۵-۷ درصد حجم ریشه‌ی سه گیاه زراعی و دو درخت در ۳۰ سانتی متری فوقانی که در مقایسه با عمق‌های پایین (۱۸۰-۳۰ سانتی متر) وجود دارد.

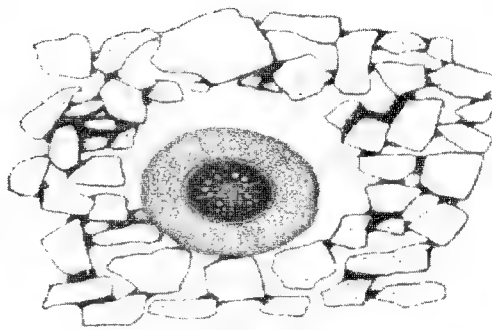
گونه نباتی	درصد ریشه‌ها	
	۳۰ سانتی متر فوقانی	۱۸۰-۳۰ سانتی متر
سویا	۷۱	۲۹
ذرت	۶۴	۳۶
ذرت خوشه ای	۸۶	۱۴
کاج رادپاتا	۸۲	۱۸
اکالپتوس مارجیناتا	۸۶	۱۴

تماس ریشه - خاک

ریشه‌ها با رشد و توسعه در خاک به داخل منافذی که دارای اندازه‌ی کافی است حرکت کرده و خود را تطابق خواهند داد. تماس یاخته‌های خارجی ریشه و خاک اجازه‌ی حرکت آسان آب را از خاک به داخل گیاه به دلیل اختلاف در سطح انرژی خواهد داد (شکل ۳۸-۵). وقتی نبات تحت تنش رطوبت قرار دارد، ریشه‌ها در رابطه با این تنش تمایل دارند از نظر اندازه متقبض و کوچک‌گردند، این شرایط در یک دوره گرم خشک طولانی وجود داشته و در طول روز که تعرق در سطح برگ در پیشینه مقدار می‌باشد بسیار حاد است. قطر ریشه‌ها در این شرایط ممکن است تا ۳۰٪ انقباض یابد. انقباض تماس مستقیم ریشه را در خاک و همین‌طور حرکت آب مایع و مواد غذایی را به داخل گیاه به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد. گرچه بخار آب در این حالت هنوز می‌تواند جذب گردد اما میزان آن پایین بوده و فقط گیاهان بسیار مقاوم به خشکی می‌توانند زنده بمانند.



(الف)



(ب)

شکل ۳۸-۵ مقطع عرضی ریشه نبات با خاک اطراف آن. (الف) در دوره‌هایی با رطوبت کافی و با تنش رطوبتی اندک، ریشه به‌طور کامل منافذ خاک را پر کرده و در تماس نزدیک با لایه‌های آب خاک است. (ب) وقتی گیاه در تحت تنش رطوبتی مانند یک دوره‌ی گرم و خشک است، ریشه متقبض شده (به‌خصوص در یاخته‌های پوستی) و تماس ریشه و خاک به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. چنین انقباض ریشه‌ها می‌تواند حتی در یک روز تابستان که میزان رطوبت خاک بالاست صورت گیرد.

۱۱-۵ نتیجه‌گیری

آب در کل حیات تأثیرگذار است. تعامل و حرکت این ترکیب ساده در خاک مشخص می‌کند که آیا این تأثیرات مثبت بوده یا منفی می‌باشد. فهم اصول حاکم بر جذب آب به‌وسیله مواد جامد خاک و یون‌های محلول می‌تواند اثرات مثبت را به بیشینه مقدار و اثرات منفی را به کمترین مقدار برساند.

مولکول آب دارای ساختمان قطبی بوده که سبب جذب بارهای الکتریکی مولکول‌های آب به‌وسیله کاتیون‌های محلول و مواد جامد خاک می‌شود. این نیروهای جذبی تمایل دارند سطح انرژی پتانسیل را به پایین‌تر از آب خالص برسانند. میزان این کاهش که پتانسیل آب خاک نامیده می‌شود (ψ)، تأثیر بسیار بارزی بر پاره‌ای از خصوصیات خاک به‌خصوص بر حرکت آب در خاک و جذب آن به‌وسیله گیاهان دارد.

پتانسیل آب به خاطر کشش بین ذرات جامد خاک و آب (پتانسیل ماتریک ψ_M) به‌انضمام نیروی ثقل ψ_g به‌مقدار زیادی حرکت آب را تنظیم می‌کند. این حرکت در خاک‌های دارای رطوبت کافی و منافذ درشت فراوان نسبتاً سریع است. در خاک‌های خشک‌تر، جذب آب به‌وسیله ذرات جامد چنان شدید است که حرکت آب در داخل خاک و جذب آن به‌وسیله گیاهان به‌مقدار زیادی کاهش می‌یابد. در نتیجه گیاهان به‌رغم وجود مقادیر قابل‌توجهی از آب که برای آن‌ها قابل‌استفاده نیست، از کمبود آب اذین می‌روند.

با حرکت موینه به‌سوی سطح ریشه‌ها و توسعه ریشه‌ها در داخل مناطق مرطوب خاک آب برای نبات فراهم می‌شود به‌علاوه ممکن است حرکت بخار در فراهم‌کردن آب برای گونه‌های بیابانی مقاوم به خشکی (خشکی‌پسندها) دارای اهمیت باشد. پتانسیل اسمزی در خاک‌هایی که دارای مقادیر زیادی نمک‌های محلول هستند مهم بوده و می‌تواند در جذب آب از خاک به‌وسیله گیاهان ممانعت ایجاد کند. چنین شرایط اغلب در خاک‌های دارای زه‌کشی محدود در مناطق با پارتندگی اندک و در گیاهان گلدانی گلخانه‌ای صورت می‌گیرد. خصوصیات و رفتار آب بسیار پیچیده است. با به‌دست آمدن دانش بیشتر، برای ما آشکار شده است که آب خاک تحت سیطره اصول ساده و اساسی فیزیکی می‌باشد. به‌علاوه پژوهش‌گران به مشابهت‌هایی بین این اصول، و اصولی که در حرکت آب زیرزمینی و جذب و استفاده رطوبت خاک به‌وسیله گیاه حاکم است دست یافته‌اند که موضوع فصل بعدی می‌باشد.

سوالات برای مطالعه

- ۱- نقش حالت مرجع آب در تعریف پتانسیل آب چیست؟ خصوصیات این حالت مرجع آب را تشریح کنید.
- ۲- ریشه نبات پنبه را که درافق‌های فوقانی خاک تحت آبیاری در امپریال ولی کالیفرنیا رشد می‌کند تصور کنید. در تلاش ریشه برای جذب مولکول‌های آب از این خاک باید بر کدام نیروها (پتانسیل‌ها) فائق آید؟ اگر این خاک به‌وسیله یک ائومبیل سنگین متراکم می‌شد کدام یک از این نیروها بیشتر تحت تأثیر قرار خواهد گرفت؟ توضیح دهید.
- ۳- با استفاده از واژه‌های دگرچسبی، هم‌چسبی، هلال، کشش سطحی، فشار اسمز و سطح آب‌دوست مقاله‌ی مختصری برای تشریح علت بالا آمدن آب از سطح آب زیرزمینی در خاک معدنی بنویسید.
- ۴- فرض کنید که شما استخدام شده اید که یک شبکه آبیاری خودکار را برای یاع یک شخص ثروتمند طراحی کنید. شما تعیین می‌کنید که رطوبت بستر گل‌ها باید در پتانسیل بالاتر از ۶۰- کیلوپاسکال بوده اما مرطوب‌تر از ۱۰- کیلوپاسکال نباشد زیرا گل‌های یک‌ساله هم به خشکی و هم به نبود تهویه مناسب حساس می‌باشند. مناطق ناهموار چمن اگر خاک تا ۳۰۰- کیلوپاسکال خشک شود می‌توانند به‌خوبی باقی بمانند. اعتبار مالی شما فقط امکان وصل مکش‌سنج و یا قطعات مقاومت الکتریکی را با کلیدهای الکترونی فراهم می‌سازد، چه وسیله‌ای را به‌کار می‌گیرید و کجا آن‌ها نصب می‌کنید توضیح دهید.
- ۵- فرض کنید مالک در مسأله اعتبار مالی شما را افزایش داده و از شما می‌خواهد که از روش TDR برای اندازه‌گیری رطوبت خاک استفاده کنید چه اطلاعات بیشتری در باره خاک که برای استفاده از مکش‌سنج لازم نیست باید به‌دست آورید تا از قطعات مقاومت و یا TDR استفاده کنید؟ توضیح دهید.
- ۶- یک متصدی گلخانه‌ای به تولید گیاهان زینتی چند ساله در ظروف پلاستیکی با ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر که با شن لومی پر شده است مبادرت دارد. او ظروف را هر روز با آبیاری بارانی آب می‌داد. اولین دسته هزارتایی گیاهان در اثر وجود آب خیلی زیاد و نبود هوای کافی زرد

شده و مردند. به‌عنوان یک کارمند گلخانه پیشنهاد می‌کنید که ایشان از گلدان‌هایی با ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر برای دسته گیاهان بعدی استفاده کنند. دلایل خود را توضیح دهید.

۷- فرض کنید که شما اطلاعات زیر را برای یک خاک اندازه گرفته اید. افق A از صفر تا ۳۰ سانتی‌متر با وزن مخصوص ظاهری ۱/۲ مگاگرم در متر مکعب و درصد رطوبت وزنی در ۱۰- کیلوپاسکال ۲۸ درصد و در ۱۰۰ کیلوپاسکال ۲۰ درصد و در ۱۵۰۰ کیلوپاسکال ۸ درصد. افق B از ۳۰ تا ۷۰ سانتی‌متر با وزن مخصوص ظاهری ۱/۴ مگاگرم در متر مکعب و درصد رطوبت وزنی ۱۰- کیلوپاسکال، ۱۰۰- کیلوپاسکال و ۱۵۰۰- کیلوپاسکال به ترتیب ۳۰٪، ۲۵٪، ۱۵٪ می‌باشد. افق B_x از ۷۰ تا ۱۲۰ سانتی‌متر با وزن مخصوص ظاهری ۱/۵ مگاگرم در متر مکعب و میزان رطوبت وزنی ۱۰- کیلوپاسکال، ۱۰۰- کیلوپاسکال و ۱۵۰۰- کیلوپاسکال به ترتیب ۲۰٪، ۱۵٪، ۵٪ می‌باشد. کل ظرفیت نگهداری آب قابل‌استفاده (AWC) خاک مورد سوال را برآورده کنند.

۸- یک جنگل‌بان یک مغزه‌ای استوانه‌ای (طول ۱۵ سانتی‌متر و شعاع ۳/۲۵ سانتی‌متر) از یک خاک در مزرعه نمونه گرفت. او کل خاک را در یک قوطی فلزی با درپوش محکم قرار داد. قوطی فلزی خالی ۳۰۰ گرم و هنگام پرشدن از خاک مرطوب ۹۷۲ وزن داشت. در آزمایشگاه قوطی بدون درپوش را در یک کوره برای چند روز قرار داد تا کاهش وزن آن متوقف شد، وزن قوطی با خاک خشک شده (به‌انضمام درپوش) ۸۷۰ گرم بود ۱۰m و ۱۰m را محاسبه کنید.

۹- چهار دلیل ارائه دهید که چرا تراکم خاک احتمالاً سبب کاهش مقدار آب قابل‌استفاده برای گیاهان در حال رشد می‌شود.

۱۰- نظام ریشه‌هایی به‌خوبی منشعب شده حتی در صورت رشد سریع به‌ندرت بیش از ۱ تا ۲ درصد با سطح ذرات خاک تماس دارند، چرا ریشه‌ها می‌توانند بسیار بیشتر از ۱ تا ۲ درصد از آب نگهداری شده در این سطوح استفاده کنند.

هم خاک و هم آب متعلق به کروی زیستی بوده و بر اساس نظم طبیعی، به عنوان گونه‌ای از تمام گونه‌ها و نسلی در بین تمام نسل‌های آینده حق نداریم آن‌ها را نابود سازیم
دانیل - هیلل

فصل ۶

خاک و چرخه آب در طبیعت

یکی از زنده‌ترین و رنج‌آورترین چهره‌های جوامع انسانی افزایش فاصله در ثروت بین اغنیا و فقرای جهان است. تجارب زندگی هر گروه برای دیگری غیرقابل درک است. در توزیع منابع آب جهان نیز این تفاوت صادق است. جنگل‌های بارانی حوزه‌های آمازون و کنگو هر سال با بیش از ۲۰۰۰ میلیمتر بارندگی سیراب می‌شوند و درحالی‌که بیابان‌های شمال آفریقا و آسیای مرکزی کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر بارندگی دریافت می‌دارند. توزیع باران نیز در طول سال یکنواخت نیست دوره‌های نسبتاً پرباران و طوفانی با دوره‌های خشک و خشکسالی به دنبال هم حادث می‌شوند.

با این حال می‌توان گفت که میزان تأمین آب برای رفع نیازهای گیاهان و حیوانات بومی در جوامع طبیعی منطقه کافی است. البته این مطلب از این نظر درست است که گیاهان و حیوانات خود را با وضع موجود آب محلی تطابق داده‌اند. جوامع اولیه انسانی با سکونت در جاهایی که آب حاصل از باران و رودخانه فراوان بوده، و با یادگرفتن این مطلب که کدام ریشه کدو شکل و ساقه نباتات می‌توانند تشنگی او را برطرف کنند، با ابداع فناوری‌هایی در جمع‌آوری آب برای کشاورزی و نگهداری آن در آب‌انبارهای زیرزمینی، با ابداع شیوه زندگی عشایری که به آن‌ها و گله‌ها آن‌ها امکان می‌داد که به دنبال آب و علف بوده و بعضی مواقع در نبود آب زندگی خود را جمع کرده و به جای دیگر حرکت کنند، خود را با منابع آب محلی تطابق دهند.

اما به نظر می‌رسد انسان‌های متمدن توانایی و اشتیاق خود را برای تطابق نیازمندی‌ها و فرهنگ با محیط خود از دست داده‌اند گرچه این نشانه مدنیت است که انسان‌ها در تلاش‌های سازمان‌یافته برای تطابق محیط با نیازمندی‌های خود به همدیگر پیوندند. چنین شد که جریان دجله و فرات به وسیله‌ی گذشته‌گان رام شد. ما انسان‌های جدید چاه‌هایی در ساحل می‌زنیم. بر نیل افسانه‌ای در اسوان سد می‌بندیم آب‌های کلرادو را به منطقه چاپارل در کالیفرنیا جنوبی نهر کشی می‌کنیم. از آب‌خوان‌ها در زیر مزارع و حومه شهرها آب می‌کشیم و شهرهای در حال توسعه (با استخرهای شنا و چمن بلوگراس) در بیابان‌های جنوب غرب آمریکا و یا در شن‌زارهای عربستان ایجاد می‌کنیم. در واقع شهرهایی مانند لاس‌وگاس از چند طریق، و نه فقط یک طریق دست به قمار زده‌اند.

اگر ۷۵۰ میلی‌متر میزان بارندگی سالانه‌ی جهان به‌طور یکنواخت در کره زمین نازل و به‌طور درستی هدایت می‌شد، آب کافی برای حمایت جامعه بشری به مراتب بیش از ۶ میلیون نفر جمعیت امروزی وجود داشت. هرچند همان‌طور که هم اکنون دیدیم، منابع آب به‌طور یکنواخت در زمان و مکان توزیع نیافته‌اند و ما انسان‌ها به‌ندرت آن‌ها را به‌طور مؤثر و عاقلانه مورد استفاده قرار می‌دهیم. آمریکای جنوبی و منطقه کارایب حدود نزدیک ۱/۳ بارندگی سالانه کره زمین را دریافت می‌دارند، استرالیا فقط یک درصد را دریافت می‌دارد. جمع کل بارندگی آفریقا از اروپا بیشتر است، اما اکثر آن در حوزه‌ی آب‌خیز کنگو در غرب مرکز آفریقا نازل می‌شود و در کشورهای آفریقایی در شمال، شرق و جنوب تأمین آب برای جمعیت در حال رشد آن‌ها خود، ناکافی باقی می‌ماند. در خاورمیانه آب همانند مذهب، ریشه در اکثر کشمکش‌های سیاسی دارد.

با این وصف، اکثر کشاورزان مناطق خشک از ۱۰ لیتر آب ۷ لیتر آن‌را در آبیاری از دست می‌دهند، زارعین در مناطق نیمه‌خشک اجازة می‌دهند حدود نصف باران گران‌بهای آن‌ها به‌صورت رواناب از دامنه‌های پرشیب خارج شود و اعظم ساکنین شهرها ۲۰ لیتر آب را هر بار برای دفع چند گرم فضولات انسانی به فاضلاب مصرف کنند.

جای زیادی برای بهبود مدیریت منابع آب وجود دارد، به‌نظر می‌رسد بسیاری از بهبودها در نتیجه‌ی مدیریت بهتر خاک‌ها باشد. خاک‌ها در چرخه و استفاده از آب نقش محوری دارند. برای مثال به‌عنوان یک مخزن ذخیره عظیم، خاک‌ها می‌تواند اثرات منفی زیاد بود و کمبود آب را متعادل کنند. خاک در مواقع زیاد بود، آب را در خود ذخیره و در زمان مناسب آن‌را برای تأمین نیازهای تبخیر و تعرق نباتات و یا تغذیه آب زیرزمینی آزاد می‌کند. ثبات ساختمانی در سطح خاک تضمین می‌کند که بخش بزرگی از باران دریافت شده با آرامی به‌داخل آب زیرزمینی و از آن‌جا به رودخانه‌های مجاور و مخازن عمیق‌تر در کره زمین حرکت کند. خاک‌ها به‌ما کمک می‌کنند که پساب‌های حاصل از

دامپروری، مصارف خانگی و منابع صنعتی راه اصلاح کرده و مجدداً مورد استفاده قرار دهیم. جریان آب از داخل خاک در این شرایط آلودگی شیمیایی خاک را به آلودگی محتمل آب زیرزمینی ارتباط می‌دهد.

در فصل ۵ اصول حاکم بر سرشت و حرکت آب‌ها را در خاک مطالعه کردیم. در این فصل خواهیم دید که چگونه این اصول در چرخه آب بین خاک، نیوار و پوشش گیاهی کاربرد دارند. سپس نقش منحصربه‌فرد خاک را در مدیریت منابع آب مورد آزمون قرار داده و مشخص خواهیم کرد که چگونه خاک‌ها با مدیریت خوب می‌توانند کمک کنند تا این چرخه برای هر موجود زنده بیشترین استفاده را داشته باشد.

۶-۱ چرخه جهانی آب

منابع جهانی آب

حدود ۱۴۰۰ میلیون کیلومتر مکعب آب در کره زمین وجود دارد که می‌تواند سطح زمین را تا عمق ۳ کیلومتر (اگر همگی به‌طور یکنواخت در سطح زمین توزیع شده باشند) پوشانند. اکثر این آب نسبتاً غیرقابل دسترس بوده و در چرخه سالانه که سبب تامین آب رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، و موجودات زنده می‌شود غیرفعال می‌باشد. بیشتر از ۹۷ درصد آب در اقیانوس‌ها یافت می‌شود (شکل ۶-۱). که در آن‌ها نه تنها آب شور می‌باشد بلکه دارای مدت اقامت چند هزار ساله می‌باشد. قطعاً لایه‌های نزدیک سطح آن‌ها در چرخه سالانه آب قرار می‌گیرند. دو درصد دیگر آب کره زمین در یخچال‌ها و کلاهک‌های کوهستان‌ها با زمان اقامت مشابه (۱۰۰۰۰ سال) قرار دارند. حدود ۰/۷ درصد آب در آب‌های زیرزمینی قرار گرفته که اکثر آن‌ها دارای عمق بیشتر از ۷۵۰ متر می‌باشند این آب هم دارای متوسط زمان اقامت چند صد سال و بیشتر می‌باشد مگر این که بر اثر آب‌کشی مورد استفاده قرار گرفته باشد.

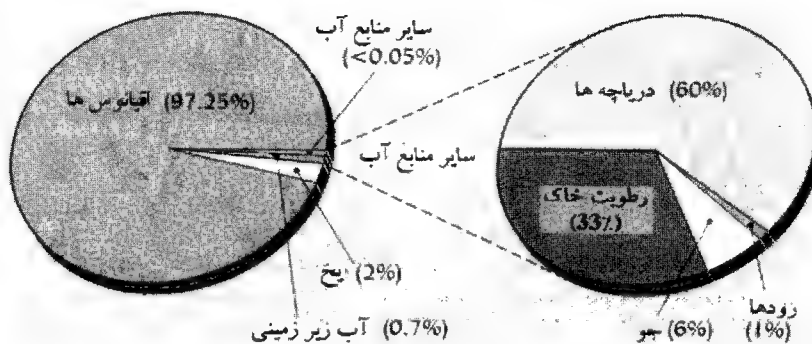
بخش فعال‌تر آب در چرخه هیدرولوژیک در سطح فوقانی اقیانوس‌ها، آب‌های زیرزمینی کم‌عمق، رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، نیوار و در داخل خاک (شکل ۶-۱ را مشاهده کنید) قرار دارد. گرچه حجم مجموع آن‌ها در مقایسه با منابع غیرفعال قابل توجه نیست، این منابع قادر به حرکت در داخل نیوار به خارج از آن و همچنین از یک منطقه در سطح زمین به منطقه دیگر می‌باشند. زمان متوسط اقامت آب در نیوار ۱۰ روز، برای بزرگ‌ترین رودخانه‌ها ۲۰ روز و برای رطوبت خاک حدود ۳۰ روز است در حالی که آب در دریاچه‌های بزرگ (مانند دریاچه‌ی بایکال در سیبری دریاچه‌ی تانگانیکا در آفریقا و ۵ دریاچه‌ی بزرگ در شمال آمریکا) که حدوداً نصف آب تمام دریاچه‌ها را دارا می‌باشند، دارای زمان اقامت بیشتری (۹۰ تا ۲۰۰ سال) می‌باشند. دریاچه‌های کوچک‌تر و مخازن آب دارای مدت اقامت بسیار کمتری می‌باشند. قابلیت دسترسی آب در این منابع آخری سبب می‌شود. که شرکت‌کنندگان اصلی در چرخه جهانی باشند که هم اکنون مورد توجه قرار خواهند گرفت.

چرخه‌ی آب

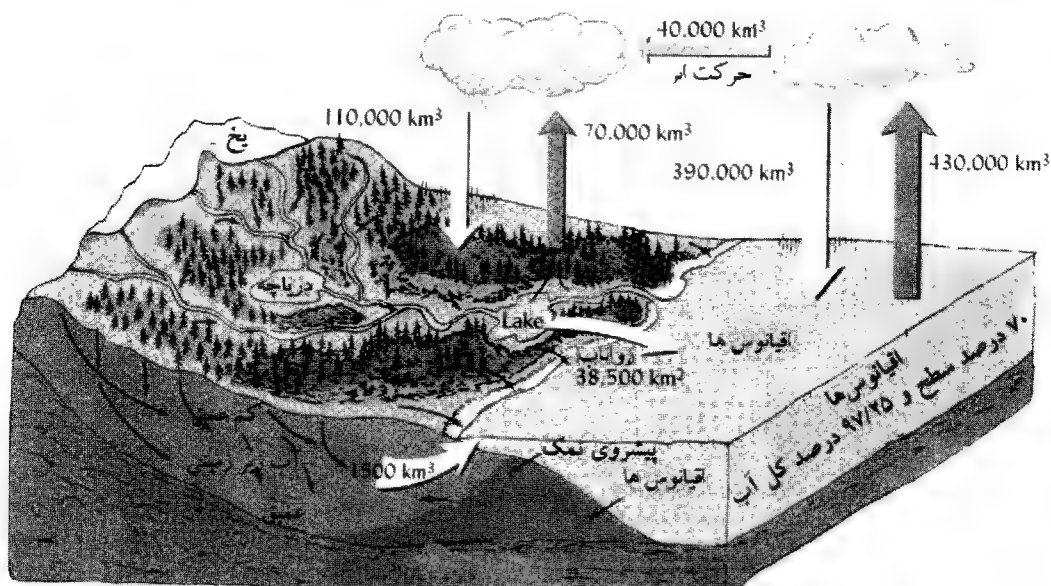
انرژی خورشیدی سبب انجام چرخش آب از سطح زمین به نیوار و سپس برگشت مجدد آن به زمین تحت عنوان چرخه آب (شکل ۶-۲) می‌باشد. حدود ۱/۳ انرژی خورشیدی که به زمین می‌رسد به وسیله‌ی آب در سطح زمین و یا نزدیکی سطح زمین جذب می‌شود. انرژی جذب شده سبب انجام تبخیر می‌شود که همان تبدیل آب مایع به بخار آب است. بخار آب در نیوار بالا رفته و نهایتاً ابرها را تشکیل می‌دهد که می‌تواند از یک منطقه‌ی کره‌ی زمین به منطقه‌ی دیگر حرکت کند. به‌طور متوسط، در طول ۱۰ روز اختلافات دما و فشار نیوار سبب تراکم بخار آب به قطرات مایع و یا ذرات جامد می‌شود که به‌صورت باران و یا برف به زمین باز می‌گردد.

همان‌طور که شکل ۶-۲ تشریح می‌کند، حدود ۵۰۰/۰۰۰ کیلومتر مکعب آب از سطح زمین و پوشش گیاهی هر سال تبخیر می‌شود بیشتر از ۸۵ درصد (۴۳۰۰۰۰ کیلومتر مکعب) این آب از اقیانوس‌ها ناشی شده و بقیه از دریاچه‌ها، رودخانه‌ها، سطح اراضی و پوشش گیاهی قاره‌ها حاصل می‌گردد. حدود ۴۰۰۰۰ کیلومتر مکعب از آب موجود در ابرها از روی اقیانوس‌ها به خشکی‌ها مهاجرت می‌کنند.

بیشتر حجم بارندگی‌ها همچنین در مناطق اقیانوسی صورت گرفته و در حدود ۳۹۰۰۰۰ کیلومتر مکعب و یا ۷۸٪ کل بارندگی، هر سال در آنجا نازل می‌شود. حدود ۱۱۰۰۰۰ کیلومتر مکعب آب به‌صورت باران و یا برف بر روی قاره‌ها می‌بارد. بعضی از آب‌های نازل شده بر روی زمین در سطح خاک (رواناب سطحی) حرکت می‌کند و بعضی در داخل خاک نفوذ یافته و آن‌را به آب‌های زیرزمینی زه‌کشی می‌کند. هم رواناب سطحی و هم نشست آب زیرزمینی به‌داخل رودها و رودخانه‌ها وارد می‌شوند، که از آنجا نیز به رودخانه‌های پایین‌دست و اقیانوس‌ها جریان می‌یابند. حجم آب برگشتی در این مسیر ۴۰۰۰۰ کیلومتر مکعب می‌باشد که همان مقدار آب را که هر ساله به‌صورت ابرها از اقیانوس‌ها به‌طرف قاره‌ها جابه‌جا می‌شود متعادل می‌سازد.



شکل ۱-۶ منابع آب کره‌ی زمین. بخش بزرگی از آب در اقیانوس‌ها، یخچال‌ها و کلاهک‌های یخی و آب‌های زیرزمینی عمیق (سمت چپ) یافت می‌شود اما اکثر این آب‌ها برای تبادل با نیوار و اراضی غیر قابل دست‌یابی می‌باشد. منابع سمت راست گرچه از نظر مقدار بسیار کمترند در چرخه آب بسیار فعال هستند.



شکل ۲-۶ چرخه آب که تمام حیات وابسته به آن است در اصل بسیار ساده می‌باشد. آب هم از سطح اقیانوس‌ها و هم از سطح قاره‌ها تبخیر یافته و به صورت باران و برف به کره زمین باز می‌گردد. حرکت خالص ابر ۴۰۰۰۰ کیلومتر مکعب آب را از اقیانوس‌ها به قاره‌ها رسانده و معادل آن آب از طریق رواناب و نشت زیرزمینی از طریق رودخانه‌ها به اقیانوس‌ها باز می‌گردند. حدود ۸۶٪ تبخیر و ۷۸٪ بارندگی در سطوح اقیانوس روی می‌دهد. هرچند فرایندی که در سطح خشکی‌ها صورت می‌گیرد و خاک‌ها تأثیر گذارند دارای اثراتی نه تنها بر انسان‌ها، بلکه بر تمام اشکال دیگر حیات، از جمله اشکالی نیز که در دریا سکونت دارند، می‌باشد.

معادله‌ی تراز آبی

بررسی اجزای چرخه آب در صورت کاربرد آن‌ها در یک حوزه‌ی آب خیز مفید می‌باشد. حوزه‌ی آب خیز محدوده‌ای از اراضی است که به وسیله‌ی یک سامانه از رودخانه‌ها زه‌کشی شده و به وسیله‌ی برجستگی‌هایی محصور می‌شود که آنرا از حوزه‌های آب خیز مجاور جدا می‌کند. تمام بارندگی‌هایی که بر روی یک حوزه‌ی آب خیز می‌بارد، در خاک ذخیره شده، به نیوار باز گشته (بخش ۲-۶ را مشاهده کنید) و یا از حوزه‌ی آب خیز به صورت رواناب و یا جریان زیرزمینی تخلیه می‌شود. آب یا به صورت تبخیر از سطح خاک (بخار شدن آب خاک)، و یا به اندازه جذب و مصرف به وسیله گیاه بر اثر بخار شدن از روزه‌های سطح برگ (فرایند تعرق) به نیوار باز می‌گردد. در مجموع، هر دو مسیر هدر رفت آب به صورت بخار آب به نیوار تبخیر- تعرق^۱ نامیده می‌شود.

^۱ - Evapotranspiration

وضعیت آب در یک حوزه آب خیز به وسیله معادله تراز آب بیان می‌شود، که در ساده‌ترین شکل خود به صورت: $P=ET+SS+D$ بیان می‌شود که در آن P بارندگی، ET تبخیر- ترق، SS ذخیره خاک و D تخلیه آب است.

بعضی مواقع برای یک حوزه آب خیز جنگلی (بعضی مواقع سطح آب گیر نامیده می‌شود) ممکن است هدف مدیریت به حداکثر رساندن D باشد تا آب بیشتری برای مصرف کنندگان در اراضی پایین دست فراهم شود. معادله مشخص می‌سازد که تخلیه فقط وقتی افزایش می‌یابد که ET و یا SS کاهش یابد، تغییراتی که ممکن است مطلوب بوده و یا نباشد. در مورد یک مزرعه تحت آبیاری، آب مصرف شده در سمت چپ معادله باید منظور گردد. مدیران آبیاری ممکن است بخواهند با به حداقل رساندن هدررفت‌های غیر ضروری در D وارقام منفی برای ذخیره خاک در بعضی مواقع سال (با مصرف کردن آب خاک) در آب به کاررفته شده صرفه جویی کنند.

۶-۲ سرنوشت بارندگی و آب آبیاری

آب تأمین شده برای خاک به صورت باران و برف و همینطور آب آبیاری در مسیرهای مختلفی حرکت کند. در اراضی دارای پوشش گیاهی بخشی از بارندگی به برگاب^۱ تبدیل می‌شود (جدول ۱-۶) و بدون آن که به خاک برسد بر اثر تبخیر به نیوار باز می‌گردد. در بعضی از اراضی جنگلی ممکن است برگاب از رسیدن ۳۰ تا ۵۰ درصد بارندگی به سطح خاک ممانعت کند. شما ممکن است ظرفیت برگاب پوشش درختی را با جستن پناهگاهی در یک باران سبک تجربه کرده باشید. برگاب و تصعید متعاقب آن (تبخیر مستقیم از حالت جامد) از برف به خصوص در جنگل‌های سوزنی برگ مهم است. حتی در اراضی زراعی مقدار برگاب پوشش گیاهی قابل توجه می‌باشد. اگر چه آب برگاب ممکن است ترق را از سطح برگ‌ها موقتاً کاهش دهد لیکن سبب تأمین آب لازمی رشد نبات نمی‌گردد.

بیشتر آبی که به خاک می‌رسد بر اثر فرایند نفوذ^۲، به طبقات پایین فرو می‌رود، به ویژه اگر ساختمان سطح خاک سست و نفوذپذیر باشد. اگر میزان بارندگی و برف از ظرفیت نفوذ خاک پیشی گیرد، آب اضافی که قادر به نفوذ نباشد بر روی سطح خاک شروع به ماندن می‌کند. در مناطق نسبتاً مسطح مقادیر زیادی آب ممکن است در گودی‌ها باقی مانده و شرایط اراضی مرطوب موقتی را تشکیل دهد که بسته به شرایط موجود برای زیست‌گاه پرندگان مفید و یا برای کشاورزی زیان‌آور باشد (شکل ۳-۶).

در اراضی شیب‌دار، به خصوص اگر خاک‌ها متخلخل و نفوذپذیر نباشند، رواناب و فرسایش قابل ملاحظه‌ای صورت خواهد گرفت، بنابراین مقدار آب وارد شده به خاک را که در رشد نبات مؤثر است، کاهش خواهد داد. در موارد حاد ممکن است بیشتر از ۵۰ درصد نزولات بدین مثال از دست رود، درحالی که ممکن است بخشی از این هدررفت به علت ممانعت از اشباع زیاد خاک مطلوب باشد، اما عمدتاً نامطلوب بوده به خصوص اگر این رواناب سطحی^۳ مقادیر قابل توجهی از مواد شیمیایی و ذرات جدا شده‌ی خاک (نه نشست^۴ به فصل ۱۷ مراجعه کنند) را حمل کند.

جدول ۶-۱ درصد برگاب در چند گونه زراعی و درختی در مناطق مختلف آمریکا: به برگاب بالا در گونه‌های درختی و زراعت‌های متراکم مانند یونجه توجه کنید.

گونه‌ی نباتی	موقعیت	درصد بارندگی ذخیره شده به وسیله برگاب
یونجه	مونتانا	۲۲
ذرت	مونتانا	۷
سویا	نیوجرسی	۱۵
کاج پاندروزا	ایدهاو	۲۲
سرو داگلاس	واشینگتن	۳۴
ممرز- افرا	نیویورک	۴۳

به محض دخول آب در خاک بخشی از آن بر اثر زه‌کشی در معرض فرونشست و هدررفت نهایی از منطقه‌ی ریشه قرار می‌گیرد. در مناطق مرطوب و در بعضی از اراضی آبی در مناطق خشک و نیمه خشک تا حدود ۵۰ درصد بارندگی ممکن است. به صورت زه‌کشی از

^۱ - Interception

^۲ - Infiltration

^۳ - Surface runoff

^۴ - Sediment

منطقه ریشه تلف گردد. هرچند در دوره‌های بعدی با بارندگی کم بخشی از آب ممکن است از طریق بالا آمدن مویینه^۱ به منطقی انتشار ریشه نبات باز گردد. این بازگشت برای نباتات در مناطق دارای خاک‌های عمیق، مخصوصاً در مناطق خشک مهم می‌باشند.

بخشی از آب نگهداری شده در خاک که به آن ذخیره آب خاک^۲ اطلاق می‌شود نهایتاً به وسیله‌ی مویینه به بالا حرکت کرده و بر اثر تبخیر از سطح خاک هدر می‌رود بخش اعظم باقی‌مانده به وسیله‌ی نباتات جذب شده و از طریق ریشه‌ها و ساقه‌ها به برگ‌ها حرکت نموده و در آن‌جا بر اثر تعرق از دست می‌رود. آب ازدست‌رفته به نیوار به وسیله‌ی تبخیر و تعرق ممکن است بعدها به وسیله‌ی بارندگی و یا آب آبیاری به خاک باز گردد و چرخه‌ی آب دوباره آغاز شود.



شکل ۳-۶ اراضی ماندابی کوچک گود- در ایالت داکوتای شمالی که به آن چاله مرغزاری گفته می‌شود. وقتی بارندگی سریع‌تر از ظرفیت نفوذ خاک باشد آب شروع به ماندانی شدن در سطح خاک نموده، سپس به داخل فروافتادگی‌ها جاری می‌شود. در بعضی از اراضی با ظرفیت نفوذ اندک آب در چاله‌ها به مدت چندین ماه در طول سال باقی می‌ماند. زراعتی که در این اراضی با ماشین‌آلات بزرگ کشت و کار می‌کنند، ممکن است به این اراضی به عنوان مزاحمی که نیازمند زه‌کشی است، بنگرند. اراضی ماندابی در دشت‌های بزرگ شمالی کشور پراکنده بوده و مناطق آشیان‌سازی را برای حدود نصف مرغابی‌ها در شمال آمریکا فراهم می‌سازند.

اثرات بارندگی

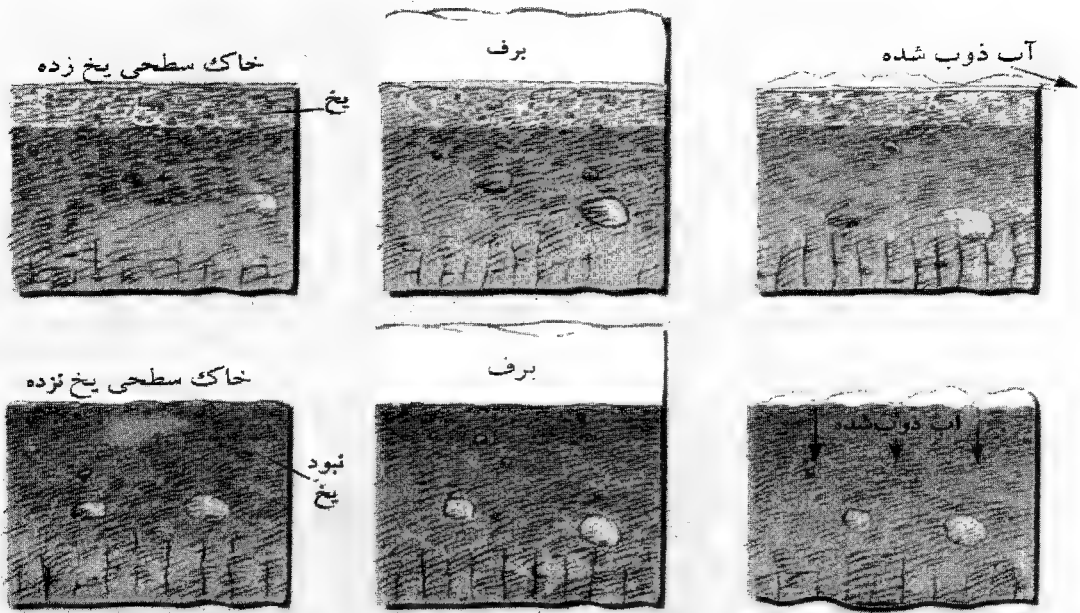
مقدار آبی که از مسیرهای مختلفی می‌گذرد همان‌طور که بحث شد تا حد زیادی تحت تأثیر زمان، میزان و نوع بارندگی می‌باشد. بارندگی‌های سنگین حتی در زمان کوتاه می‌توانند آب را به مقدار بیشتری که خاک توان جذب آن را دارد، فراهم کنند و این در مناطق خشک حتی با بارندگی سالانه ۲۰۰ میلی‌متر نیز صادق می‌باشد. رگبارهای شدید^۳ که ۲۰ تا ۵۰ میلی‌متر بارش را در مدت چند دقیقه به دنبال دارد می‌تواند سبب طغیان سیل و ایجاد فرسایش خندقی گردد. بخش بزرگی از نزولات که در طول چندین روز متوالی باران‌های آرام توزیع یافته است، می‌توانند به آرامی وارد خاک شده و بنابراین سبب افزایش آب ذخیره شده قابل استفاده‌ی نبات و همین‌طور تغذیه‌ی آب زیرزمینی گردد.

همان‌طور که در شکل ۴-۶ تشریح شده است، زمان بارش برف در اول زمستان می‌تواند در تفکیک آب برف ذوب شده در اول بهار به صورت رواناب سطحی یا نفوذ در خاک مؤثر باشد. یک پوشش برفی عایق خوبی بوده و بنابراین اگر خاک قبل از اولین بارش سنگین برف یخ بزند نزول برف‌های بعدی سبب یخ‌زده باقی‌ماندن آن می‌گردد، حتی وقتی دمای بالای بهار سبب آغاز ذوب برف شود در این شرایط آب ناشی از ذوب برف قادر به نفوذ در لایه‌های یخ‌زده زیرین نبوده و به صورت رواناب ظاهر می‌شود. از طرف دیگر اگر خاک وقتی هنوز یخ‌زده نیست زیر پوشش برفی قرار گیرد. پوشش برفی عایق از یخ‌زدن خاک در طول زمستان ممانعت می‌کند. در این مورد وقتی برف در بهار ذوب می‌شود آب حاصل از برف به آسانی در داخل خاک یخ زده داخل گشته و رواناب سطحی به مقدار اندکی صورت می‌گیرد.

^۱ - Capillary rise

^۲ - Soil storage water

^۳ - Cloudburst



شکل ۶-۴ زمان نسبی دمای یخ زدن و نزول برف در پاییز در بعضی مناطق در رواناب و نفوذ آب به داخل خاک در بهار به طور شدیدی مؤثر می باشد. سه شکل فوقانی تشریح می کنند که وقتی سطح خاک قبل از اولین برف سنگین یخ می زند چه اتفاقی می افتد. پوشش برفی سبب عایق شدن خاک گردیده به طوری که وقتی برف در بهار شروع به ذوب شدن می کند خاک هنوز یخ زده و غیر قابل نفوذ می باشد. توالی عکس های زیرین موقعیتی را تشریح می کنند که خاک در پاییز قبل از این که به وسیله اولین برف سنگین پوشش یابد یخ زده است.

اثرات پوشش گیاهی و خصوصیات خاک در نفوذپذیری

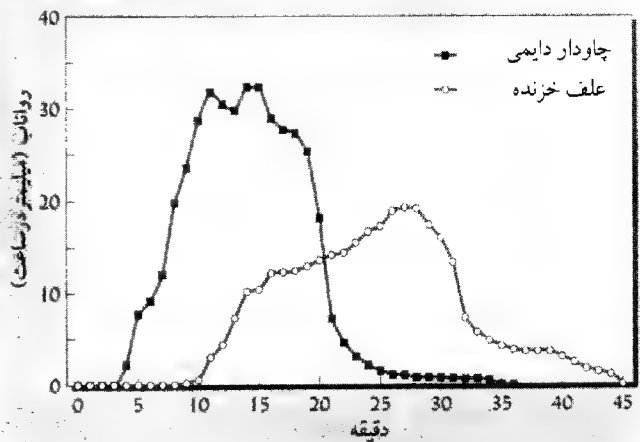
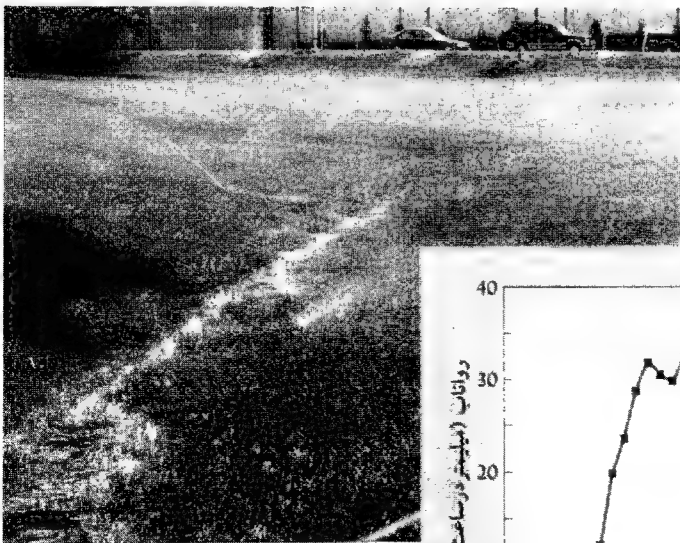
نوع پوشش گیاهی: علاوه بر نگهداری و ذخیره برگاب حاصل از برف و باران قبل از رسیدن آن به خاک، گیاهان در تعیین نسبت آبی که به صورت رواناب در می آید و یا در خاک نفوذ می یابد یاری می دهند. پوشش گیاهی و بقایای چمن زارهای چندساله و پوشش متراکم جنگلی، ساختمان متخلخل خاک را از ضربت قطرات باران محافظت می کنند. بنابراین سبب تسهیل نفوذ آب و در نتیجه کاهش حمل خاک به وسیله رواناب می گردد. به طور کلی، رواناب بسیار کمی از اراضی تحت پوشش جنگل دست نخورده و یا چمن زار تورف با مدیریت خوب صورت می گیرد. هر چند همان طور که شکل ۶-۵ مشخص می سازد، تفاوت در بین گونه های گیاهی، حتی در بین گیاهان چمنی، می تواند در رواناب مؤثر باشد.

جریان ساقاب: تاج پوشش بسیاری از نباتات بارندگی را به طرف ساقه نبات هدایت می کنند، بنابراین توزیع مکانی بارانی را که به خاک می رسد تغییر می دهند. دریک تاج پوشش جنگلی ممکن است بیش از نصف بارندگی به صورت قطراتی از برگها، سرشاخه ها به تنه درخت رسیده و در آنجا به صورت جریان ساقاب به زمین وارد شود. به همین ترتیب تاج پوشش گیاهان زراعی خاصی مانند ذرت بخش بزرگی از بارندگی را به صورت قیفی به ردیف گیاهان در خاک می رساند (شکل ۶-۶). تراکم آب در محدوده کوچکی در اطراف ساقه نبات امکان جریان اشباع را افزایش می دهد. اگر کودهای شیمیایی در کنار ردیف گیاهان جای گذاری شود این نفوذپذیری غیریکناخت ممکن است سبب آبشویی عناصر غذایی محلول به پایین تر از منطقه انتشار ریشه نبات گردد. جریان ساقاب در مطالعه آب شناسی و چرخه عناصر غذایی در بسیاری از بوم سامان های گیاهی بایستی مورد ملاحظه قرار گیرد.

مدیریت خاک: هدف عمده سیستم های مدیریت خاک و آب، به خصوص در مناطق نیمه خشک و نیمه مرطوب تقویت نفوذ آب در مقایسه با رواناب می باشد. این هدف ممکن است با ارتقاء ذخیره ی سطحی خاک برای اختصاص زمان بیشتر برای انجام نفوذ آب در خاک تحقق یابد (شکل ۶-۷ الف). روش دیگر استقرار پوشش متراکم در ایامی که بارندگی زیاد است، می باشد. این امر ممکن است شامل استفاده از گیاهان پوششی باشد، نباتاتی که در فاصله بین فصول اصلی رشد نبات کاشته می شوند (شکل ۶-۷ ب) این گیاهان پوششی^۱ سبب تقویت فعالیت

^۱ - Cover Groups

کرم‌های خاکی و حفاظت ساختمان خاک شده، که منجر به ارتقاء شدید نفوذپذیری خاک می‌گردد. گرچه باید به‌خاطر آورد که گیاهان پوششی سبب تفرق می‌شوند. اگر گیاهان به‌دنبال آن‌ها وابسته به آب ذخیره شده در خاک باشند، احتیاط لازم را باید در ازین بردن آن‌ها قبل از تخلیه‌ی رطوبت خاک‌رخ به‌عمل آورد. کاربرد بولدوزر و دیگر ماشین‌آلات سنگین برای کف‌تراشی جنگل‌ها می‌تواند نفوذ آب را در خاک به‌شدت کاهش دهد. شکل ۸-۶ اثرات بولدوزر زدن را با روش سستی برداشت دستی جنگل‌های گرمسیری مقایسه می‌کند. روش‌های سستی کمترین به‌هم‌زدن را داشته و میزان نفوذپذیری همانند قبل از جنگل‌تراشی باقی می‌ماند، درحالی‌که بولدوزر زدن سبب ازبین‌رفتن کف جنگل و متراکم‌شدن خاک گردید، که به‌طور سرسام‌آوری کاهش نفوذ آب را در خاک به‌دنبال داشت. درحالی‌که مطالعات بیانگر این است که اثرات مخرب تراکم می‌تواند تا حدی به‌وسیله‌ی شخم عمیق برطرف گردد، این نتایج ما را از استفاده از ماشین‌آلات سنگین در کف‌تراشی جنگل به‌خصوص در مناطق مرطوب حاره‌ای برحذر می‌دارد.



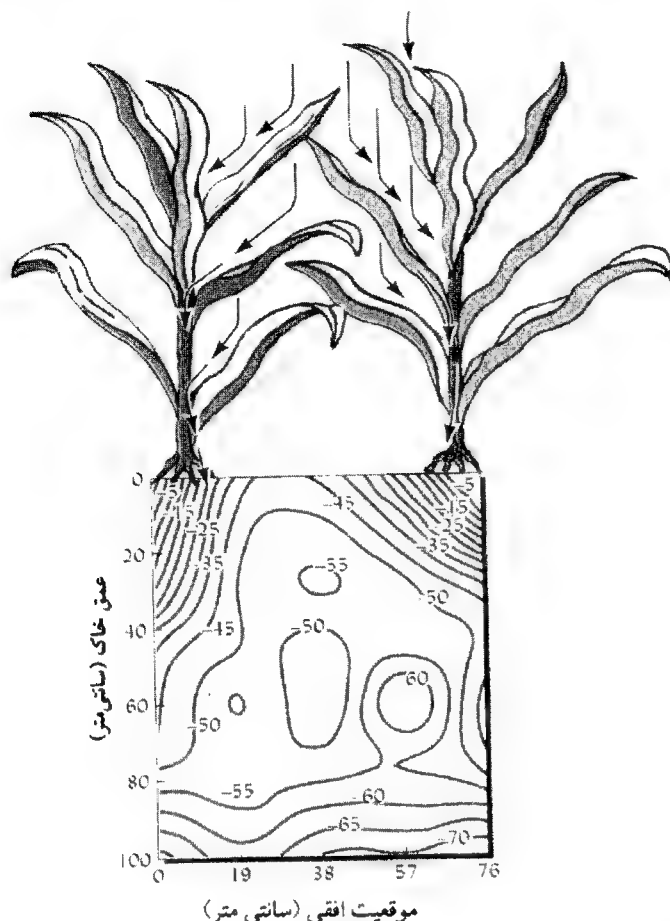
شکل ۵-۶ آب اندکی معمولاً از چمن جاری می‌شود، به‌استثنای بارندگی‌های خیلی شدید، جایی‌که خاک متراکم شده باشد، و یا آب آبیاری به‌طور یکنواخت و یا با میزان بالایی (همان‌طور‌که در عکس دیده می‌شود) مصرف شود. نمودار بیانگر رواناب از اراضی زیر دونوع چمن گلف به‌دنبال آبیاری به‌میزان ۱۵۰ میلی‌متر در ساعت می‌باشد. توجه کنید که حداکثر رواناب در علف خزنده^۱، که مشخصه آن پوشش متراکم ساقه‌ی نبات و وجود بسیاری از منافذ زیستی^۲ در نزدیکی سطح خاک است بسیار پایین می‌باشد. آبیاری سبک‌تر بر روی هر دو علف چمن سبب حذف رواناب گردید. رواناب بیانگر هدررفت آب و توان حمل مواد شیمیایی چمن‌زار به رودها و رودخانه‌ها خواهد شد.

تخلخل خاک: خصوصیات خاک نیز در سرنوشت بارندگی مؤثر است. اگر خاک سست و متخلخل باشد (برای مثال شن‌ها و خاک‌های خاکدانه‌ای) بخش بزرگی از آب به‌داخل خاک نفوذ کرده و بخش کوچکی از آن به رواناب تبدیل می‌گردد. برعکس، خاک‌های رسی سنگین با ساختمان ناپایدار در مقابل نفوذپذیری آب مقاومت کرده و سبب تقویت رواناب می‌شود. این اختلافات همان‌طور‌که شکل ۹-۶ نشان می‌دهد مربوط به خصوصیت خاک و همچنین پوشش گیاهی می‌باشد.

با درنظرداشتن کل چرخه آب، توجه خود را به اجزای چرخه که گیاهان و خاک‌ها برجسته‌ترین نقش را در آن‌ها ایفا می‌کنند معطوف می‌داریم.

^۱ - Creeping bent grass

^۲ - Biopores



شکل ۶-۶ توزیع فایم و افقی آب خاک در نتیجه‌ی جریان ساقاب. خطوط میزان یسانگر توان آب برحسب کیلوپاسکال بین دو ردیف زراعت ذرت در یک خاک لوم شنی است. در طول ۲ روز گذشته، ۲۶ میلی‌متر بارندگی در مزرعه نازل شده است. تاج پوشش بسیاری از گیاهان، از جمله ذرت نشان داده در شکل، بخش بزرگی از بارندگی را به طرف ساقه نبات هدایت می‌کند. جریان ساقاب سبب توزیع غیریکنواخت آب می‌گردد. در اراضی زراعی این امر سبب تفاوت در آبیاری مواد شیمیایی مانند کودهای شیمیایی، بسته به این که در منطقه بیشترین رطوبت در نزدیکی ساقه نبات مصرف شده و یا نشده باشد می‌گردد. تراکم آب به وسیله‌ی جریان ساقاب می‌تواند جریان آب را در منافذ درشت بعد از وقوع یک باران سبک به دنبال داشته باشد.

۳-۶ زنجیره‌ی خاک-نبات-نیوار^۱

حرکت آب در زنجیره‌ی خاک-نبات-نیوار، جزء اصلی در کل چرخه آب است. شکل ۶-۱۰ بسیاری از فرایندهایی را که هم‌اکنون مورد بحث قرار دادیم مانند، برگاب، رواناب سطحی، فرونشست، زه‌کشی، تبخیر، جذب آب به وسیله‌ی نبات، حرکت آب به طرف برگ‌ها و تفرق آب از برگ‌ها به نیوار را یکجا آورده است. در مطالعه این زنجیره دانشمندان همان اصول اساسی را که در نگهداری و حرکت آب چه در خاک و چه در نبات و یا در نیوار موجود است کشف کرده‌اند. در فصل ۵ مشاهده کردیم که سطح انرژی آب عامل عمده تعیین‌کننده رفتار آب در خاک بود. همین اصل را می‌توان در حرکت آب در بین خاک، ریشه نبات و بین نبات و نیوار بیان داشت (شکل ۶-۱۰ را ببینید). اگر نبات بخواهد از خاک آب جذب کند، توان آب در ریشه نبات باید از توان آب در خاک مجاور ریشه کمتر باشد به همین منوال، حرکت روبه بالای آب از ساقه به طرف برگ‌ها عکس‌العمل به تفاوت‌های توان آب در بین این دو محل است. در حرکت آب از سطح برگ‌ها به نیوار نیز همین اصل صادق است. برای تشریح حرکت آب به نقاطی که دارای توان کمتری است شکل ۶-۱۰ نشان می‌دهد که توان آب از ۵۰- کیلوپاسکال در خاک به ۷۰- در ریشه، و ۵۰۰- کیلوپاسکال در سطح برگ‌ها، و نهایتاً به ۲۰۰۰۰- کیلوپاسکال در نیوار کاهش می‌یابد.

دو نقطه‌ی مقاومت

تغییرات در پتانسیل آب خاک که در شکل ۶-۱۱ تشریح شده است مشخص‌کننده‌ی مقاومت عمده در دو نقطه به محض حرکت آب از داخل زنجیره می‌باشد. فصل مشترک ریشه-آب خاک و فصل مشترک سلول‌های برگ-نیوار می‌باشد. این بدان معنی است که دو عامل اولیه تعیین‌کننده این امر است که آیا آب مورد نیاز گیاه به خوبی تأمین شده است: (۱) میزان آب تأمین‌شده خاک به ریشه‌های جذب‌کننده و (۲) میزانی که آب از برگ نباتات تبخیر می‌گردد. از آنجاکه عوامل مؤثر در توانایی خاک برای تأمین آب در بخش ۹-۵ مورد بحث قرار گرفت حال به هدررفت آب بر اثر تبخیر از سامانه‌ی خاک-نبات می‌پردازیم.

^۱ Soil -plant -atmosphere continuum (spac)



(الف)



(ب)

شکل ۶-۷ مدیریت خاک‌ها برای افزایش نفوذ آب باران. (الف) پندهای کوچک جویچه‌ای در سمت راست در این مزرعه در تگزاس سبب نگهداری آب باران به مدت کافی برای نفوذ آن در خاک به جای ایجاد رواناب می‌شود (ب) این خاک اشباع تحت گیاهان پوششی زمستانه خلر کرکدار به وسیله‌ی حفره‌های کرم خاکی شرحه‌شده و نفوذ آب را به داخل خاک در یک باران سنگین جدید به مراتب افزایش می‌دهد. مقیاس به سانتی‌متر می‌باشد.

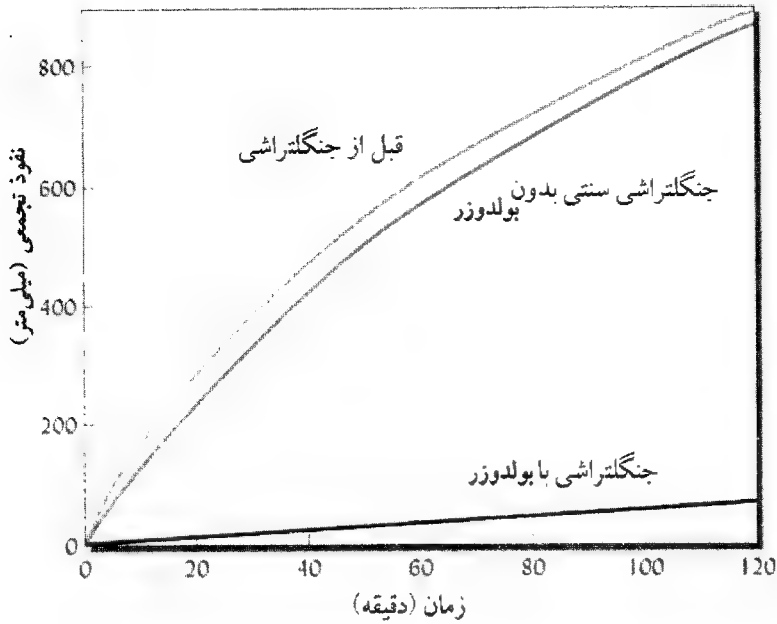
تبخیر و تعرق

درحالی‌که اندازه‌گیری تغییرات کلی درمقدار آب خاک بر اثر هدررفت بخاری آسان است. تعیین این‌که درست چه مقدار از این هدررفت مستقیماً از خاک (بر اثر تبخیر^۱) و چه مقدار از سطح برگ (بر اثر تعرق^۲) انجام می‌گیرد کاملاً مشکل است. بنابراین اطلاعات عمده‌تاً مربوط به تبخیر و تعرق (ET)^۳ می‌باشد که هدررفت مشترک حاصل از این دو فرایند است. بخش تبخیر از ET ممکن است از نظر توان تولید زاید معرفی شود. هرچند حداقل بعضی از اجزاء تعرق برای رشد گیاه ضروری است، از جمله تهیه آب برای خنک کردن نبات، انتقال عناصر غذایی، فتوسنتز و نگهداری شادابی نبات.

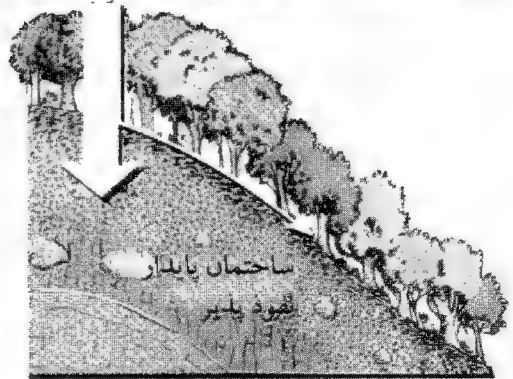
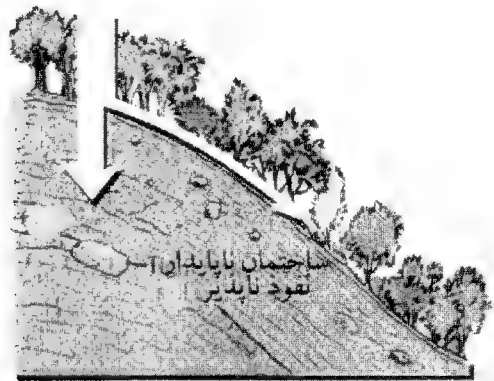
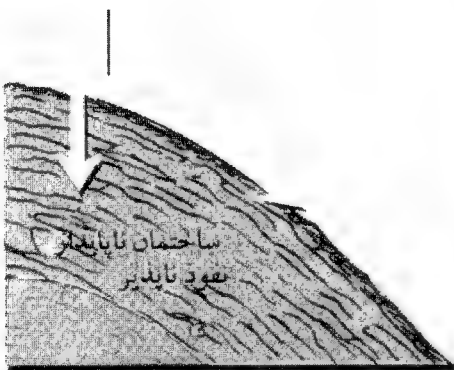
^۱ - Evaporation

^۲ - Transpiration

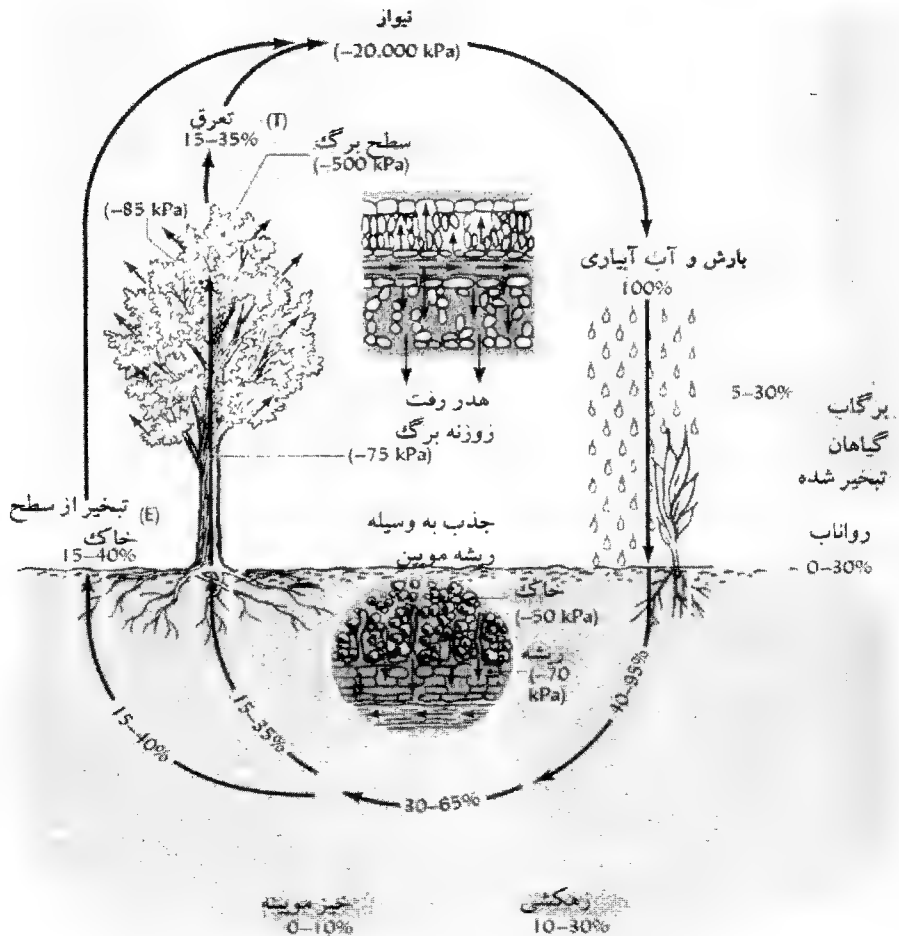
^۳ - Evapotranspiration



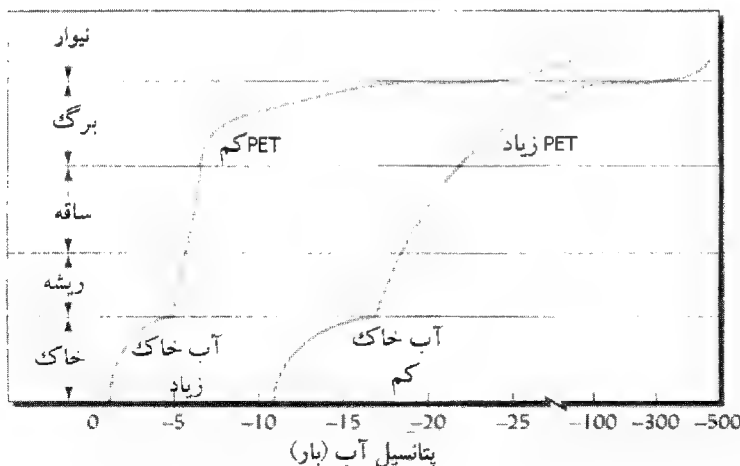
شکل ۸-۶ اثر وسایل سستی و مکانیکی کف تراشی جنگل بر میزان نفوذپذیری تجمعی در یک خاک اولتی سول در منطقه‌ی آمازون کشور پرو. اندازه‌گیریها، ۱۴ هفته بعد از جنگل تراشی انجام گرفته است. ظاهراً به هم خوردن و تراکم خاک سطحی به وسیله بولدوزر مقدار و اندازه‌ی منافذ را کاهش داد. بنابراین سبب کاهش میزان نفوذپذیری به طور شدیدی گردید. کف تراشی سستی به وسیله دست خاک را متراکم نکرد.



شکل ۹-۶ تأثیر ساختمان خاک و پوشش گیاهی بر تفکیک بارندگی به نفوذپذیری و رواناب. دو شکل فوقانی نشان‌دهنده‌ی خاک‌هایی با ساختمان سفت غیرپایدار بوده که در مقابل نفوذپذیری عمقی مقاومت می‌کنند. خاک بدون پوشش مخصوصاً به سله‌ی سطحی حساس می‌باشد و سبب هدر رفتن زیاد آب به وسیله‌ی رواناب می‌شود. حتی در پوشش جنگلی، نفوذپذیری پایین خاک‌ها نمی‌تواند تمام باران‌های یک رگبار شدید را قبول کند. دو شکل پایینی نشان‌دهنده نفوذپذیری بسیار بیشتر در خاک‌های متخلخل با ساختمان پایدار و منافذ درشت فراوان می‌باشد. ساختمان متخلخل‌تر همراه با اثرات حفاظتی کف جنگل و تاج پوشش تقریباً سبب حذف رواناب سطحی می‌شود.



شکل ۱۰-۶ زنجیره‌ی خاک - نبات - نیوار نشان‌دهنده حرکت آب از خاک به گیاهان و از آنجا به نیوار و سپس برگشت به خاک در مناطق مرطوب و یا نیمه‌مرطوب می‌باشد. رفتار آب در داخل زنجیره در ارتباط با همان روابط انرژی است که آب خاک را شامل می‌باشد و در فصل ۵ مورد بحث قرار گرفت. توجه داشته باشید که پتانسیل رطوبت در خاک از ۵۰۰ پاسکال به ۷۰۰ کیلوپاسکال در ریشه می‌رسد، با حرکت آب به داخل ساقه‌ها و برگ‌ها این پتانسیل کاهش می‌یابد. این پتانسیل در حد فاصل برگ‌ها و نیوار به ۵۰۰ کیلوپاسکال می‌رسد، در این فاصله به بعد رطوبت به نیوار فرار می‌کند و پتانسیل رطوبت نیوار ۲۰۰۰۰ کیلوپاسکال می‌باشد. رطوبت از محلی که دارای پتانسیل (توان) بالایی است به جایی که پتانسیل کمتری دارد حرکت می‌کند. به تقسیم‌بندی بارندگی و آب آبیاری در صورت حرکت آن به داخل زنجیره توجه کنند.



شکل ۱۱-۶ تغییر در پتانسیل آب با حرکت آب از خاک به داخل ریشه، ساقه و از برگ به نیوار. توجه کنید که پتانسیل آب با حرکت آب در سیم کاهش می‌یابد.

تبخیر و تفرق پتانسیل (PET) به ما می‌گوید که اگر میزان آب خاک به‌طور مداوم در حد بهینه باقی بماند، با چه سرعتی بخار آب از سامانه پرپوشش متراکم خاک-نبات از دست می‌رود. PET عمدتاً به وسیله متغیرهای اقلیمی مانند دما، رطوبت نسبی، پوشش ابری و سرعت باد، که در شیب بخار آب بین خاک مرطوب، برگ و بین سطح آب و نیوار مؤثر می‌باشد تعیین می‌شود.

تعدادی از مدل‌های ریاضی برای برآورد PET از اطلاعات هواشناسی ابداع شده است. PET در عمل می‌تواند بسیار آسان با به‌کارگیری ضریب اصلاح با مقدار آب تبخیر شده از یک طشت آب با طراحی استاندارد برآورد گردد (طشت تبخیر کلاس A در شکل ۱۲-۶ آمده است). پوشش گیاهی متراکم که خوب آب داده شده است معمولاً آب را با ۶۵٪ سرعت تبخیر از طشت تبخیر باز، مورد تفرق قرار می‌دهد. بنابراین فاکتور همبستگی برای پوشش متراکم مانند چمن معمولاً ۶۵٪ (برای پوشش کم تراکم این ضریب کمتر است) می‌باشد.

$$\text{PET} = 0.65 \times A$$

طشت تبخیر

دامنه PET از بیشتر از ۱۵۰۰ میلی‌متر در سال برای مناطق گرم خشک، تا کمتر از ۴۰ میلی‌متر برای مناطق خیلی سرد متغیر است. ممکن است در طول زمستان در مناطق معتدل PET کمتر از ۱ میلی‌متر در روز باشد. برعکس، بادهای گرم خشک به‌طور مداوم آب را از سطح مرطوب به مقدار ۱۰ تا ۱۲ میلی‌متر تبخیر می‌کنند. به این دلیل، زارعین چه در دشت‌های بزرگ شمال آمریکا و چه در منطقه ساحل در شمال آفریقا از بادهای گرم که خاصه این مناطق است وحشت دارند.



شکل ۱۲-۶ یک طشتک تبخیر کلاس A که برای کمک به تعیین تبخیر و تفرق پتانسیل (PET) به کار می‌رود. سطح آب در چاهک مشاهده‌ای (استوانه‌ای کوچک) روزی یک بار تعیین می‌شود و میزان آب لازم برای بالاآوردن سطح آب به خط اصلی اندازه‌گیری می‌شود. تبخیر از طشتک بیانگر مجموع اثرات رطوبت نسبی، دما، سرعت باد و سایر متغیرهای اقلیمی مربوط به شیب فشار بخار آب است. در شکل بادنما برای اندازه‌گیری سرعت باد و پناه‌گاه که حاوی ادوات اندازه‌گیری دما و رطوبت نسبی است نشان داده شده است.

تأثیر میزان رطوبت خاک روی ET

تبخیر از سطح خاک (E) در دمای خاص تا حد زیادی به‌وسیله‌ی مرطوب‌بودن سطح خاک و توانایی خاک برای جبران این آب سطحی در فرایند تبخیر، مشخص می‌شود. در اکثر موارد خاک در ۱۵ تا ۲۵ سانتی‌متری فوقانی اکثر آب لازم برای تبخیر سطحی (E) را تأمین می‌کند. حرکت موینه رو به بالای آب بسیار محدود است مگر این‌که سطح آب زیرزمینی کم‌عمقی وجود داشته باشد. به‌محض خشک‌شدن خاک، هدررفت بیشتر تبخیر به‌مقدار زیادی کاهش می‌یابد. هرچند به‌دلیل این‌که ریشه گیاهان در بخش عمیق‌تر خاک پراکنده شده‌اند،

^۱ - Potential Evapotranspiration

بخش قابل توجهی از آب بر اثر تبخیر و تعرق از لایه‌های زیرزمینی فراهم می‌شود (شکل ۱۳-۶ را مشاهده کنید). آب ذخیره شده در عمق خاک‌رخ برای پوشش گیاهی در مناطقی که دارای فصول متناوب خشک و تر می‌باشند (رژیم‌های یوستیک و زریک) به‌خصوص مهم می‌باشد، آب ذخیره شده در خاک زیرین در ایام پرباران در طول ایام خشک برای تبخیر و تعرق آماده است.

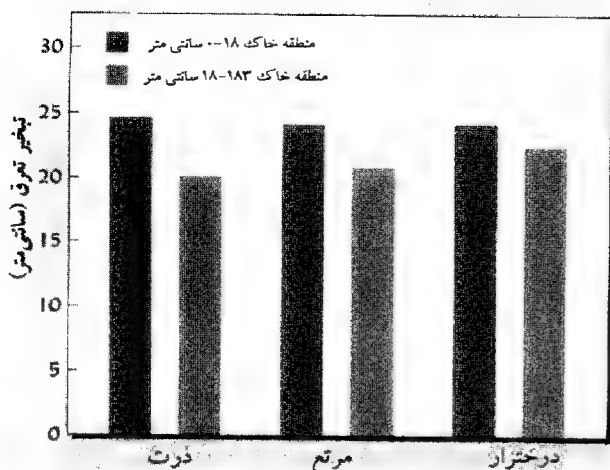
کمبود آب و تنش آب در گیاه

برای پوشش گیاهی مترام درخاکی که در آن آب به‌مقدار کافی تأمین شده است ET تقریباً معادل PET است. وقتی مقدار آب خاک از حد بهینه کمتر باشد، نبات قادر نیست آب را در خاک با سرعت کافی معادل PET خارج کند. اگر آب از سطح برگ‌ها سریع‌تر از آب وارد شده به ریشه خارج شود گیاه شادابی خود را از دست داده و پژمرده می‌شود. در تحت این شرایط، تبخیر و تعرق حقیقی^۱ کمتر از PET است و نبات دچار تنش آب^۲ می‌شود. تفاوت بین PET و تبخیر و تعرق حقیقی کمبود آب^۳ نامیده می‌شود کمبود زیاد بیانگر تنش زیاد آب خاک و خشکی می‌باشد.

در تحت شرایط تنش، نباتات اول روزنه‌ها را بر روی سطح برگ‌های خود می‌بندند تا هدررفت کاهش یافته از پژمردگی ممانعت گردد. هرچند بسته‌شدن روزنه‌ها دارای ۲ اثر زیان‌آور است اثر اول: رشد نبات به‌خاطر CO₂ ناکافی که برای فتوسنتز می‌تواند از روزنه‌ها عبور کند متوقف می‌شود و کاهش خنک‌شدن نبات سبب گرم‌شدن زیان‌آور برگ‌ها با ادامه جذب تابش خورشیدی می‌شود. اثر دوم: اجازة می‌دهد که ادوات سنجش اشعه مادون قرمز با تعیین افزایش دمای سطح برگ در مقایسه با دمای هوا تنش آب را در گیاهان برآورد کنند.

تأثیر انرژی تابشی بر PET

تابش خورشیدی ۲۲۶۰ ژول (۵۴۰ کیلوکالری) مورد نیاز برای تبخیر هر گرم آب، چه از سطح خاک (E) و چه از سطح برگ (T) تأمین می‌کند. نور آفتاب مستقیم سبب بیشترین تبخیر می‌شود. در روزهای ابری، تابش خورشیدی کمی به سطوح خاک و نبات برخورد می‌کند. بنابراین، پتانسیل (توان) تبخیر چندان زیاد نیست. آفتاب که به‌سطح زمین با یک زاویه کم (حاده) برخورد می‌کند انرژی خود را در سطح بزرگ‌تری پخش می‌کند، و بنابراین، سبب انجام تبخیر کمتر در واحد سطح در مقایسه با تابش قائم خورشیدی می‌گردد. بنابراین، تبخیر در زمستان و شیب‌هایی که به‌طرف آفتاب نیست (شیب‌های رو به شمال در نیمکره‌ی شمالی شکل ۲۲-۷ را مشاهده کنید) نسبتاً پایین است.



شکل ۱۳-۶ هدررفت ناشی از تبخیر و تعرق از لایه‌ی سطحی (۱۰-۱۸ سانتی متر) در مقایسه با هدررفت از خاک تحت الارض (۱۸-۱۸۳ سانتی متر). توجه کنید که بیشتر از نصف هدررفت آب از ۱۸ سانتی متر بالایی و نصف دیگر از ۱۶۵ سانتی متری تأمین می‌شود. دوره‌های اندازه‌گیری برای ذرت ۲۳ می تا ۲۵ سپتامبر، مرتع ۱۵ آوریل تا ۲۳ اوت، اراضی جنگلی از ۲۵ می تا ۲۸ سپتامبر می‌باشد.

تأثیر تاج پوشش گیاهی در حال رشد بر تبخیر و تعرق

در اراضی تحت پوشش، تابش خورشیدی دریافتی در مسیر خود از داخل تاج پوشش، یا جذب برگ گیاهان شده و یا به‌زمین رسیده و به‌وسیله‌ی خاک جذب می‌شود. بنابراین با زیادشدن مساحت برگ در واحد سطح اراضی (نسبتی که به آن شاخص سطح برگ^۴ می‌گویند) تابش بیشتری به‌وسیله‌ی پوشش برگی جذب شده که سبب تعرق گردیده و تابش کمتری به سطح خاک برای تبخیر می‌رسد.

^۱ - Actual Evapotranspiration

^۲ - Water stress

^۳ - Water deficit

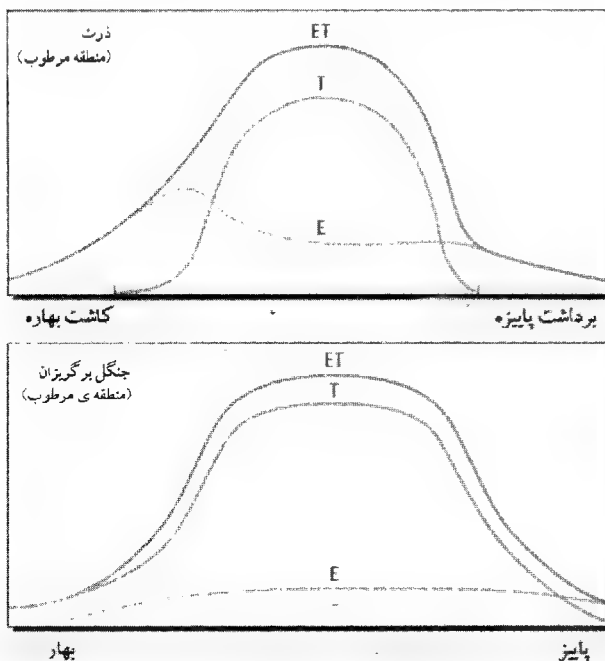
^۴ - Leaf area index

برای تک کشتی در نباتات یک ساله، شاخص سطح برگ به طور شاخص از صفر هنگام کشت تا حداکثر خود (۳ تا ۵) در گل دهی افزایش یافته و سپس با پیر شدن نبات کاهش می یابد و در آخر، پس از برداشت نبات مجدداً به صفر می رسد (با فرض این که به هیچ گونه گیاه هرزی امکان رشد داده نشود). تعرق در طول یک دوره کوتا (۳ تا ۵ ماه) صورت می گیرد درحالی که تبخیر از سطح خاک تا وقتی که خاک یخ نزده است ادامه خواهد داشت (شکل ۱۴-۱۶). برعکس پوشش گیاهی چند ساله مانند چراگاه ها، جنگل ها، دارای شاخص سطح برگ زیادی در اول و آخر فصل رشد می باشند. وقتی که کف جنگل (لاشیرگ جنگلی) دست نخورده باقی مانده باشد، تابش مستقیم کمتری حتی به سطح خاک می رسد و تبخیر در تمام طول سال اندک است. به طور خلاصه هدر رفتن آب از سطح خاک و از تعرق به وسیله (۱) شرایط اقلیمی (۲) پوشش گیاهی در مقایسه با سطح خاک (شاخص سطح برگ). (۳) کارایی استفاده از آب به وسیله گیاهان مختلف و (۴) فصل و طول فصل رشد نبات تعیین می شود.

تأثیر ویژگی های نبات در تبخیر و تعرق

خصوصیات نبات از جمله عمق انتشار ریشه، طول چرخه حیات و شکل ظاهری برگ می توانند در مقدار هدر رفت آب بر اثر تبخیر و تعرق در فصل رویش گیاه مؤثر باشند. در یک جامعه گیاهی طبیعی، گیاهان با خصوصیات مختلف تمایل دارند که جایگاه بوم شناسی خاصی را اشغال کنند. بعضی از گیاهان که عادت دارند تبخیر و تعرق را به عنوان درصدی از PET کاهش دهند عبارتند از گیاهان با خواب در فصل خشک (بلوگراس در هوای گرم تابستان)، از دست دهنده گان برگ در فصل خشک (اکثر درختان ساوانا)، گیاهان با شاخص سطح برگ کم در نتیجه فاصله زیاد بوته ها (علف نفت^۲ در مراتع نیمه خشک)، گیاهان با توانایی استفاده از گاز کربنیک در شب هنگامی که روزه های باز برگ سبب هدر رفت زیاد آب نمی شود (گیاهان گوشتی بیابانی).

در گیاهان زراعی، مقدار آب مصرف شده وابسته به فصل رشد در یک گونه خاص است. جدول ۲-۶ بیانگر این نکته در مورد چند نبات زراعی مورد مطالعه در ایالت کالیفرنیا می باشد. برای نمونه، نبات جو که برای چندین ماه عمده تا در زمستان مرطوب سرد رشد کرده است از یک زراعت لوبیا که فقط برای مدت سه ماه در طول تابستان خشک و گرم رشد کرده است آب کمتری مصرف نموده است. اکثر اختلافات در ET به دلیل تفاوت در PET ایامی است که در آن نبات رشد کرده است. هر چند بعضی از نباتات فقط ۷۰ درصد PET را مصرف کرده درحالی که بعضی دیگر نزدیک ۹۰ درصد را مصرف کرده اند. این نتایج حاکی از آنند که دانشمندان خاک و اصلاح نبات می توانند با یکدیگر برای تعیین ویژگی های نبات، که سبب ارتقای مقاومت به خشکی و بازده استفاده از آب می گردد همکاری کنند.



شکل ۱۴-۶ نرخ نسبی تبخیر از سطح خاک (E)، تعرق از سطح برگ (T) و هدر رفت کل بخار آب (ET) در دو کشت متفاوت. (بالا) مزرعه درت در منطقه مرطوب. تا زمان استقرار کامل نبات اکثر هدر رفت بخار از سطح خاک است (E)، اما بار رشد نباتات تعرق به زودی غالب خواهد شد (T). سطح خاک سایه دار گردیده و E در واقع تا حدی کاهش یابد زیرا اکثر رطوبت از داخل نبات از دست می رود وقتی که رشد نبات کامل می شود T و همبست طور ET کاهش می یابد. برای یک جنگل خزان کننده مجاور (شکل پایین) همان روند کلی تشریح شده است، با این تفاوت که تبخیر کمتری از سطح خاک صورت گرفته و بخش زیادتری از هدر رفت بخار بر اثر تعرق می باشد. در منطقه جنگلی خاک به وسیله تاج درختان در اکثر فصل رشد پوشیده شده است. باید توجه نمود که این شکل مربوط به مناطق شاداب بوده و هدر رفت واقعی در مزرعه تحت تأثیر توزیع بارندگی، نوسانات دما و خصوصیات خاک می باشد.

¹ - Ecological Nich
² - Creosote bush

۶-۴ کارآیی استفاده از آب

میزان ماده‌ی خشک تولید شده به‌وسیله‌ی یک نبات از یک مقدار مشخص آب، مقیاس مهمی از کارآیی (راندمان) استفاده، به‌ویژه در مناطق کم‌آب می‌باشد. این کارآیی ممکن است بر حسب میزان عملکرد خشک نبات در واحد آب تعرق یافته (کارآیی تعرق)، و با برحسب میزان عملکرد خشک نبات در واحد آب مصرف شده بر اثر تبخیر و تعرق (کارآیی تبخیر و تعرق) باشد. بیان دیگری از کارآیی استفاده از آب نسبت تعرق است^۱ که عکس کارآیی تعرق بوده و بر حسب کیلوگرم آب تعرق یافته برای تولید ۱ کیلوگرم ماده‌ی خشک است. نسبت تعرق برای یک نبات خاص به‌طور مشخص تحت تأثیر شرایط اقلیمی بوده و از ۲۰۰ تا ۵۰۰ در مناطق مرطوب و تقریباً ۲ برابر آن در مناطق خشک متغیر می‌باشد (جدول ۳-۶).

جدول ۲-۶ آب مورد استفاده‌ی تبخیر و تعرق به‌وسیله‌ی زراعت‌های مختلف کشت شده در خاک‌های خوب آبیاری شده. به‌طور کلی ET به‌وسیله‌ی اقلیم فصلی اداره گردید، اما اختلافات در نسبت ET/PET در بین نباتات مختلف در طول فصول رشد آن‌ها صورت گرفت. PET برای تمام سال در منطقه کالیفرنیا ۱۳۱۶ میلی‌متر بود

زراعت	فصل رشد		ET	PET	ET/PET
	تاریخ کشت	تاریخ برداشت	میلی‌متر	در طول دوره میلی‌متر	در طول دوره
جو	اول نوامبر	۳۱ می	۳۸۴	۵۰۴	۰.۷۶
گوجه فرنگی	۳۰ اپریل	۲۴ سپتامبر	۶۸۱	۸۶۶	۰.۷۹
ذرت	۱۵ می	۲۰ سپتامبر	۶۴۰	۷۷۵	۰.۸۳
لوبیا	۲۱ ژوئن	۲۴ سپتامبر	۴۰۳	۵۶۸	۰.۷۱
چغندر قند	۱۵ ژوئن	۱۵ مارس	۷۹۰	۸۹۶	۰.۸۸

جدول ۳-۶ نسبت تعرق نباتات مختلف که در مناطق مختلف تعیین شده است و برحسب کیلوگرم آب مصرف شده برای تولید ۱ کیلوگرم ماده‌ی خشک می‌باشد.

محل	نبات	لوبیا	شیدر	ذرت	ارزن	یولاف	نخود	سبب زمینی	گندم
انگلستان (هارینگدن)	۲۰۹	۲۶۹	---	---	---	---	۲۵۹	---	۲۴۷
آلمان (داهمه)	۲۸۲	۳۱۰	---	---	---	۳۷۶	۲۷۳	---	۳۳۸
آمریکا (ویزکانزین)	---	۵۷۶	۲۷۱	---	---	۵۰۳	۴۷۷	۳۸۵	---
هندوستان (پوسا)	---	---	۳۷۷	---	---	۴۶۹	۵۶۳	---	۵۴۴
آمریکا (کلرادو)	۷۳۶	۷۹۷	۳۶۸	۳۱۰	۵۹۷	۷۸۸	۶۳۶	---	۵۱۳

نسبت تعرق

در یک منطقه‌ی خاص، تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای در میان گونه‌های نباتی متفاوت وجود دارد. برای مثال جدول ۳-۶ نشان می‌دهد که در ایالت نیمه‌خشک کلرادو ارزن و ذرت دانه‌ای دارای نسبت تعرق نسبتاً کمی می‌باشند و این بدان معنی است که آن‌ها نیازمند مقادیر نسبتاً کمتری آب برای تولید یک کیلوگرم ماده‌ی خشک می‌باشند. برعکس، بعضی از نباتات علوفه‌ای تیره‌ی یقولات مانند شیدر دو برابر آب بیشتر در هر کیلوگرم ماده‌ی خشک مصرف می‌کنند.

می‌توانیم به اهمیت این اعداد با ملاحظه‌ی کشت نبات گندم در منطقه نیمه‌خشک با نسبت تعرق حدود ۵۰۰ کیلوگرم پی ببریم. برای هر کیلوگرم ماده‌ی خشک روی زمین حدود ۵۰۰ کیلو (و یا لیتر) آب تعرق می‌یابد. اگر فرض کنیم که فقط ۴۰ درصد ماده‌ی خشک تولید شده در هنگام برداشت به‌صورت بذّر (بقیه کاه و کلش) باشد، مشاهده می‌کنیم که حدود ۱۲۵۰ لیتر آب برای تولید ۱ کیلوگرم بذّر گندم مصرف

^۱ - Transpiration Ratio

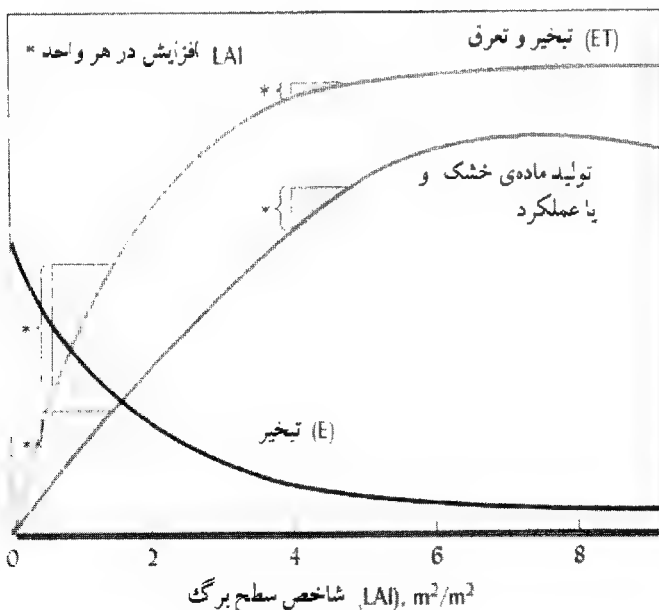
می‌شود. وقتی آب مصرف شده برای میوه‌ها، سبزی‌ها و علوفه‌ی مورد لزوم احشام و دانه‌ها را به حساب آوری، جای تعجب نخواهد بود که میزان آب مورد نیاز برای تأمین غذای یک روز یک فرد بالغ در ایالات متحده را حدود ۷۰۰۰ لیتر (۱۷۰۰ گالن) برآورد کنیم. میزان آب لازم برای رسیدن کامل یک نبات حقیقتاً بسیار زیاد است. برای مثال یک زراعت گندم که شامل ۵۰۰۰ کیلوگرم ماده‌ی خشک در هکتار است و دارای نسبت ترقق ۵۰۰ می‌باشد، آبی معادل ۲۵۰ میلی‌متر باران را در طول فصل رشد از خاک استخراج می‌کند. این مقدار آب به‌انضمام آن‌چه از سطح خاک تبخیر می‌شود باید در طول فصل رشد تأمین گردد، تعجب‌آور نخواهد بود که آب، و توانایی خاک برای ذخیره‌ی آن مهم‌ترین عامل حیاتی برای رشد نبات باشد.

کارایی ET

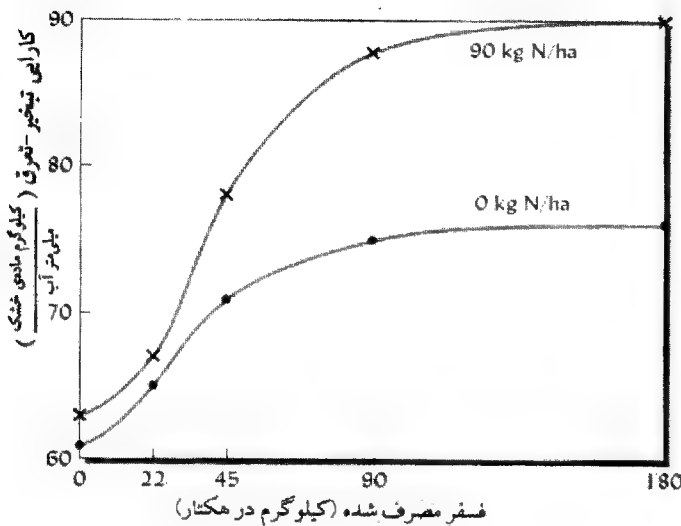
از آنجا که تبخیر و ترقق (ET) شامل هر دو ترقق (T) از نبات و تبخیر (E) از سطح خاک می‌باشد، کارایی ET بیشتر از کارایی T قابل مدیریت می‌باشد. بالاترین کارایی ET وقتی بدست می‌آید که تراکم نبات و سایر عوامل رشد برای رشد نبات در حد بهینه باشند. افزایش در شاخص سطح برگ (LAI)، سبب افزایش تولید نبات خواهد شد به‌طوری‌که تمام تابش خورشیدی قابل استفاده عملاً به‌وسیله‌ی سطح برگ جذب می‌شود. به‌علاوه همان‌طور که در شکل ۱۵-۶ آمده است، وقتی شاخص سطح برگ در فاصله صفر تا ۴ فزونی می‌یابد، تولید نبات به‌مقدار بیشتری از ET افزایش می‌یابد، بنابراین تولید نبات در واحد آب بخار شده (کارایی ترقق) افزایش می‌یابد.

شکل ۱۶-۶ کارایی تبخیر و ترقق را در اثر افزایش کود فسفر و نیتروژن در یک خاک دارای کمبود نشان می‌دهد. افزایش میزان تولید در واحد آب تبخیر شده حاصل گیاهان پر قدرت کود خورده است که (۱) ریشه‌ها را به عمق بیشتر در داخل نیم‌رخ خاک انتشار داده، و (۲) تولید سطح برگ بیشتر که سبب جذب بخش بزرگی از تابش خورشیدی گردیده و تابش کمتری برای تبخیر آب از خاک باقی می‌ماند (شکل ۱۵-۶ را مشاهده کنید). بنابراین با افزایش تولید در اثر بهبود تغذیه، T افزایش قابل ملاحظه‌ای یافته اما E کاهش می‌یابد. بنابراین، ET به‌مقدار ناچیزی افزایش می‌یابد. می‌توانیم استنتاج کنیم تا زمانی که تأمین آب محدود نشده باشد، نگهداری شرایط بهینه برای رشد نبات (با انتخاب فاصله اندک در ردیف‌های کشت و یا انتخاب ارقام دارای قدرت بیشتر) کارایی استفاده از آب را به‌وسیله‌ی نبات افزایش می‌دهد.

در محیط‌های نیمه‌خشک اگر آب برای آبیاری موجود نبود و مدت بارندگی بسیار کوتاه باشد این اصل را باید با احتیاط به‌کار گرفت. کمترین افزایش در استفاده از آب کل (ET) به‌وسیله‌ی نباتات دارای رشد زیاد ممکن است آب ذخیره شده در خاک را قبل از کامل شدن چرخه حیات نبات خارج ساخته و سبب تنش شدید آب و حتی مرگ نبات قبل از تولید هر گونه عملکرد قابل برداشت شود.



شکل ۱۵-۶ اثر کلی شاخص سطح برگ LAI در تولید، تبخیر و ترقق (ET) و تبخیر (E). قسمت‌های هاشورخورده نشان‌دهنده افزایش در اثر LAI به‌میزان یک واحد می‌باشد. توجه کنید ET با افزایش LAI تا نقطه‌ای افزایش یافته و سپس پس از آن که پوشش برگ تمام تابش خورشیدی را دریافت کرد یکنواخت می‌شود. E همزمان کاهش یافته و در حد بسیار پایینی یکنواخت می‌گردد. به‌جز در مقادیر بسیار بالا و یا بسیار پایین LAI عملیاتی (مانند کود دادن و فاصله‌ی نزدیک کشت) که سبب افزایش LAI می‌شود احتمالاً سبب افزایش تولید به نسبت بیشتر از افزایش ET مربوط می‌شود و حاصل آن بهبود کارایی استفاده از آب می‌باشد.



شکل ۱۶-۶ کارایی استفاده از آب در گندم تحت تأثیر مصرف کود فسفره در بود یا نبود کود از سه (معدل ۱۲ سال). کارایی تعرق با افزایش میزان مصرف کود افزایش یافت.

۵-۶ مدیریت تبخیر و تعرق

- همان‌طور که هم اکنون مشاهده شد هدررفت آب بر اثر ET در ارتباط با کل سطح برگ مواجه با تابش خورشیدی است. تنظیم کل سطح برگ مواجهه با تابش می‌تواند ET را در تعادل با PET (و بنابراین تنش کمتر آب) قرار دهد. راه کار برای تحقق این امر به شرح زیر می‌باشد:

 - ۱- اگر آب بتواند به وسیله آبیاری افزایش یابد (راه حلی که در بخش ۱۱-۶ مورد بحث قرار خواهد گرفت) هر دو ET و تولید عملکرد احتمالا به طور شدید افزایش می‌یابند. این اقدام اغلب به دلیل هزینه بالا و نبود منبع آب امکان‌پذیر نیست.
 - ۲- اگر رشد سریع احتمالا سبب تخلیه آب قابل استفاده قبل از رشد کامل نبات گردد شرط عقل این است که عوامل رشد نبات، مانند عرضی عناصر غذایی را در حد کم برای تنظیم LAI مدیریت نمود.
 - ۳- شاخص سطح برگ نبات مورد نظر را با تراکم کشت کمتر، و یا با زیاد نمودن فاصله کشت نبات محدود نمود هر چند باید توجه داشت که نباتاتی که با فاصله زیاد کشت می‌شوند تمایل دارند که هر یک شاخص سطح برگ بیشتری تولید کرده و تراکم کمتر را تا حدی جبران کنند. به علاوه فاصله بیشتر سبب تبخیر بیشتری از سطح خاک می‌شود.
 - ۴- حذف گیاهان نامطلوب (گیاهان هرز) می‌تواند سبب حذف عمده هدررفت ناشی از تعرق گیاهان هرز گردد که می‌توانند عرضه آب قابل استفاده را برای گیاهان مطلوب کاهش دهند.
 - ۵- در مناطق نیمه خشک حذف پوشش گیاهی در طول یک مدت مشخص می‌تواند سبب ذخیره آب باران در خاک برای کشت بعدی گردد. دو راه یافت آخری اول مورد بحث قرار خواهند گرفت.

مهاری گیاهان ناخواسته

تعرق ناشی از علف‌های هرز ممکن است ذخایر آب را که مورد نیاز کشت‌های مورد نظر است به طور جدی تخلیه کند. به علت استفاده‌ی شدید آب خاک، گیاهان هرز در استقرار و رشد جنگل‌ها، مراتع و نباتات زراعی مطلوب مزاحمت ایجاد می‌کنند. گیاهان هرز به طور سستی با انجام عملیات کشت و کار مهاری می‌شوند، اما در دهه‌های اخیر گیاهان هرز به مقدار بیشتر با استفاده از علف‌کش‌ها از بین می‌روند (بخش ۲-۱۸ را مشاهده کنید). حذف گیاهان هرز به وسیله علف‌کش‌ها دارای برتری‌های زیادی بر عملیات کشت و کار می‌باشد، از جمله انرژی و نیروی کار کمتر، و امکان دست‌نخورده باقی ماندن پس‌مانده‌های گیاهی پوشش‌دهنده می‌باشد (بخش ۶-۶ را مشاهده کنید). مبارزه شیمیایی با گیاهان هرز دارای زیان‌های زیادی در بعضی شرایط است، که از جمله قیمت بالای آن‌ها، افزایش مقاومت گیاهان هرز به ترکیبات خاص، خسارت به زراعت مورد نظر و ایجاد مسمومیت در محیط می‌باشد. در رابطه با مطلب آخر باید اشاره داشت که بعضی از علف‌کش‌ها برای جانداران خاک، ماهی‌ها و حیوانات خاک‌زی سمی می‌باشند، و در مقادیر نامطلوب در آبراهه‌های اراضی و منابع آب مشروب پایین دست تمرکز می‌یابند (بخش ۳-۱۸ را مشاهده کنید).

جایگزین‌هایی برای مبارزه شیمیایی با گیاهان هرز ابداع شده‌اند. برای مثال بعضی از گیاهان هرز را می‌توان به وسیله عوامل زیستی مهاری کرد، و آن مدیریت حمله‌ی حشرات و یا امراض خاص فقط به گیاه هرز می‌باشد. برداشت و یا چرا کردن به موقع می‌تواند مسأله گیاهان هرز

را کاهش دهد، به علاوه فناوری‌های کشت و کار برای مبارزه با گیاهان هرز بهبود یافته، و بنابراین نیاز به علف‌کش‌های شیمیایی را به حداقل رسانده است. ادوات نوینی قادر می‌باشد که در داخل پس‌مانده‌های گیاهی زیاد کشت و کار کرده و در مهار علف‌های هرز بدون مصرف مواد شیمیایی، و ضمن حفظ پوشش بقایای سطحی به مقدار مطلوب، بسیار امیدوارکننده باشند.

دوره‌ی آیش در نظام‌های زراعت دیم

نظام‌های کشت که آیش تابستانه (دوره بدون نبات) را به مدت یک سال در تناوب با کشت سستی در سال بعد قرار می‌دهند در بعضی مواقع برای ذخیره رطوبت در محیط‌های دارای بارندگی اندک مورد استفاده می‌باشند. برای محافظت خاک و کمک به بدام‌افتادن برف، کشت زراعت قبل معمولاً حداقل تا بهار سال آیش بر روی خاک باقی می‌ماند. برای جلوگیری از هدررفت رطوبت بر اثر تعرق، گیاهان هرز در سال آیش به وسیله‌ی خاک‌ورزی سبک و یا علف‌کش‌ها از بین برده می‌شوند. بخش بالایی شکل ۲۱-۳ نشان‌دهنده نوارهای متناوب شاخص آیش تابستانه با گندم در منطقه‌ای با خاک‌های استول می‌باشد.

در سالی که خاک آیش باقی می‌ماند مقداری هدررفت ناشی از تبخیر صورت می‌گیرد اما از آنجاکه نباتی کشت نمی‌شود هدررفت ناشی از تعرق حذف می‌گردد. بنابراین، اکثر بارندگی که در داخل خاک در سال آیش نفوذ یافته در خاک‌رخ ذخیره می‌شود. وقتی که نبات در سال بعد کشت می‌گردد در مقایسه با نباتی که سال قبل نیز کشت گردیده دسترسی بیشتری به آب ذخیره شده در خاک‌رخ خواهد داشت. بنابراین عملکرد پس از آیش‌گذاری، معمولاً بیشتر می‌باشد اما همیشه چنان بالا نیست که بتواند جبران عملکرد کشت سال قبل را بکند (جدول ۴-۶). آیش تابستانه وقتی که وقوع باران غیرقابل‌اطمینان بوده و بارندگی برای تولید عملکرد کافی نباشد، مطمئناً سبب کاهش خطرات از بین رفتن محصول خواهد شد.

۶-۶ مدیریت تبخیر سطحی

بیشتر از نصف بارندگی در مناطق نیمه‌خشک و نیمه‌مرطوب معمولاً بر اثر تبخیر (E) مستقیماً از سطح خاک به نیوار باز می‌گردد و در سامانه‌های مرتعی طبیعی، E بخش بزرگی از ET می‌باشد زیرا جوامع گیاهی تمایل دارند خود را چنان تنظیم کنند که منتهی به تراکم گیاهی و سطح برگ کمتری برای به حداقل رساندن فاصله بین PET و ET گردند. به علاوه پس‌مانده‌های گیاهی در سطح خاک بسیار تنگ می‌باشد. هدررفت ناشی از تبخیر در مناطق خشک و در خاک‌های تحت آبیاری، به خصوص چنانچه عملیات نامؤثری به کار گرفته شوند، نیز بالا می‌باشد (بخش ۱۱-۶ را مشاهده کنید). در مناطق مرطوب با زراعت دیم (بارانی) هدررفت ناشی از E در دوره بدون باران، بالا می‌باشد. چنین هدررفت رطوبت سبب غارت بیشتر انرژی رشد جوامع گیاهی و کاهش آب موجود برای تغذیه رودخانه‌ها می‌شود. مطالعه دقیق شکل ۱۷-۶ این روابط و اصولی را که در بخش‌های ۴-۶ و ۵-۶ مورد بحث قرار گرفت، روشن می‌کند.

در اراضی زراعی، مهم‌ترین عملیات مؤثر به منظور کنترل E روش‌هایی هستند که مقداری پوشش برای خاک فراهم می‌سازند این پوشش به بهترین وجه می‌تواند به وسیله‌ی خاک‌پوش‌ها و یا با اجرای عملیات خاک‌ورزی حفاظتی خاص، ایجاد شود که سبب باقی‌ماندن پس‌مانده‌های گیاهی در سطح خاک همانند پوشش بروی بوم‌سامان‌های طبیعی می‌گردد.

خاک‌پوش‌های گیاهی

خاک‌پوش عبارت است از هر ماده‌ای است که بر روی سطح خاک اساساً به منظور کاهش تبخیر و یا مبارزه با گیاهان هرز قرار داده می‌شود. نمونه‌های آن عبارتند از خاک اره، کود دامی، کاه و کلش، برگ و پس‌مانده‌های گیاهی. خاک‌پوش‌ها می‌توانند در کنترل تبخیر بسیار مؤثر باشند. اما ممکن است تولید و یا خرید و انتقال آن‌ها به مزرعه و استعمال در خاک بسیار پرهزینه و نیازمند نیروی کارگری زیاد باشند. مصرف خاک‌پوش برای مساحت‌های کوچک (باغچه‌ها و ایجاد فضای سبز) و برای نباتات گران‌بها مانند شاخه‌های گل، انواع تمشک‌ها، توت‌فرنگی، درختان میوه و سبزی‌های خاص بسیار عملی است، علاوه بر کاهش تبخیر، خاک‌پوش‌های گیاهی ممکن است مزایای زیر را در بر داشته باشد: (۱) کاهش توزیع امراض ناشی از خاک (۲) تهیه گذرگاه‌های تمیز برای پیاده‌روی (۳) کاهش رشد علف هرز (اگر ضخامت زیاد داشته باشند) (۴) معتدل نمودن دمای خاک به خصوص ممانعت از گرمای بیش از حد در ماه‌های تابستان (بخش ۱۲-۷ را مشاهده کنید) (۵) افزایش نفوذ آب در خاک (۶) تهیه‌ی ماده‌ی آلی و احتمالاً عناصر غذایی در خاک (۷) تقویت جمعیت کرم‌های خاکی و (۸) کاهش فرسایش خاک. اکثر این مزایای جانبی در استفاده از خاک‌پوش‌های پلاستیکی و کاغذی که مورد بحث قرار خواهند گرفت وجود ندارد.



خاک پوش های کاغذی و پلاستیکی

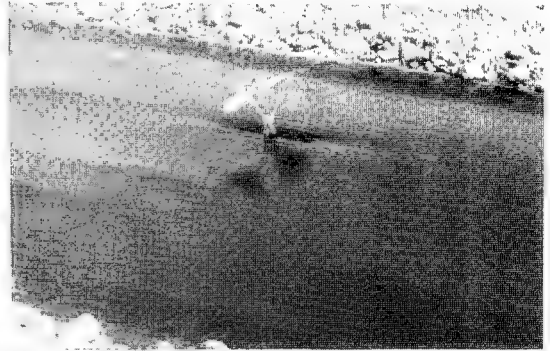
پس مانده‌های گیاهی و عملیات خاک‌ورزی حفاظتی^۱

¹ - Conservation tillage² - Summer fallow system³ - Stubble mulch

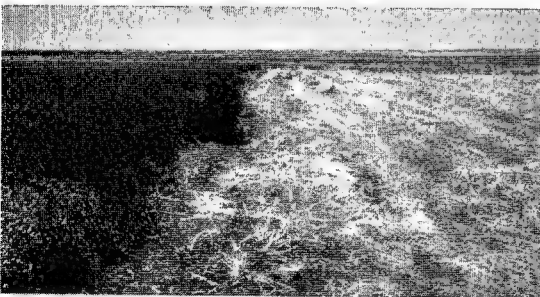
جدول ۴-۶ عملکرد گندم (کیلوگرم در هکتار) در ۷ نقطه در دشت‌های بزرگ آمریکا که در آن‌ها کشت مداوم و کشت آیش با هم مقایسه شده‌اند

محل	سال‌های دارای آمار	بعد از آیش	بعد از گندم
هاور- مونتانا	۳۵	۲۱۰۰	۵۴۰
دیکنسون - داکوتای شمالی	۴۴	۱۴۰۰	۷۸۰
نیول - داکوتای جنوبی	۴۰	۱۴۲۰	۹۱۰
اکرون - کلرداو	۶۰	۱۴۲۰	۵۰۰
نورت پلات- نبرسکا	۵۶	۲۱۴۰	۸۳۰
کولبی- کاتراس	۴۹	۱۳۲۰	۶۲۰
بوش لند- تگزاس	۲۹	۱۰۱۰	۶۴۰

سایر نظام‌های خاک‌ورزی حفاظتی که سبب باقی‌ماندن پس‌مانده در سطح خاک می‌شوند شامل نظام بدون خاک‌ورزی^۱ (شکل ۱۹-۶)، است که در آن نبات جدید مستقیماً در داخل ریشه و یا پس‌مانده‌های گیاهی نبات پیشین بدون هر نوع عملیات شخم و دیسک کاشته می‌شود. این نظام و دیگر نظام‌های خاک‌ورزی حفاظتی در بخش ۶-۱۷ مورد توجه بیشتر قرار خواهند گرفت



شکل ۱۸-۶ برای نباتات دارای ارزش نقدی بالا معمولاً از خاک‌پوش‌های پلاستیکی استفاده می‌شود پلاستیک به وسیله‌ی ماشین نصب گشته (چپ) و در همان موقع نباتات نشاء می‌شوند (سمت راست). خاک‌پوش‌های پلاستیکی سبب مهار گیاهان هرز، ذخیره رطوبت، تقویت رشد زود هنگام و حذف نیاز به دندانه‌زدن می‌شود. قیمت بالای پلاستیک استفاده از آن را فقط در گیاهان گران‌بها عملی می‌سازد.



شکل ۱۹-۶ خاک‌ورزی حفاظتی سبب باقی‌ماندن پس‌مانده‌های گیاهی بر روی سطح خاک شده و سبب کاهش تلفات تبخیر و فرسایش خاک می‌گردد (سمت چپ). در منطقه‌ی نیمه‌خشک (داکوتای جنوبی) کاه و کشت حاصل از زراعت گندم قبلی در داخل خاک نیمه‌مدفون شده تا در مقابل باد مقاومت نموده و در عین حال بتواند اکثر سطح خاک را پوشش دهد. در سال بعد نصف چپ مزرعه که در عکس نشان داده شده و هم اکنون تحت کشت گندم است زیر خاک‌پوش کلشی خواهد بود و در نصف راست مزرعه گندم کاشته می‌شود. (سمت راست) ذرت بدون خاک‌ورزی در داخل کلش باقی‌مانده در سطح خاک از زراعت قبلی گندم در مناطق مرطوب رشد می‌کند. توجه کنید که در نظام نبود خاک‌ورزی (No-tillage) تقریباً خاک به‌طور مستقیم در معرض تابش خورشید، باران و باد قرار نمی‌گیرد.

^۱ - No-tillage

۶-۷ هدررفت آب به صورت مایع از خاک

در بحث خود در چرخه آب به دو نوع هدررفت آب به صورت مایع از خاک اشاره کردیم. (۱) فرونشست و یا زه کشی آب و (۲) رواناب (شکل ۶-۲ را مشاهده کنید). فرونشست آب سبب تغذیه آب زیرزمینی شده و مواد شیمیایی را از خاک خارج می سازد. رواناب اغلب مقادیر قابل توجهی از خاک و مواد شیمیایی حل شده را (فرسایش) حمل می کند.

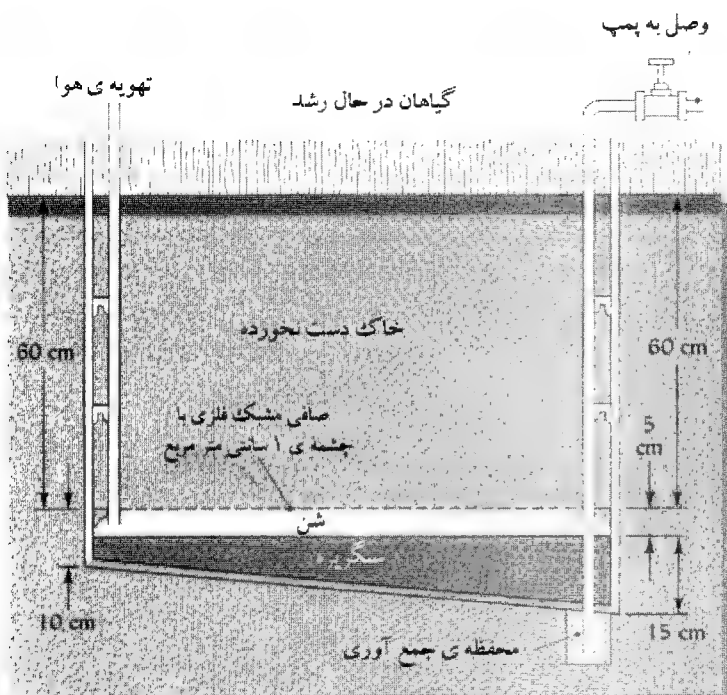
فرونشست^۱ و آبشویی^۲: روش های مطالعه

دو روش کلی برای مطالعه هدررفت ناشی از فرونشست و آبشویی وجود دارد که عبارتند از (۱) لوله های مشبک زیرزمینی که معمولاً تنبوشه های زه کشی نامیده شده و برای تحقق هدف مورد نظر تعبیه می گردند و (۲) لایسمترهای^۳ ساخته شده ویژه. در روش اول منطقه ای باید انتخاب شود که در آن تنبوشه های زه کشی فقط آب منطقه مورد مطالعه را دریافت دارد. مزیت این روش آن است که هدررفت آب و عناصر غذایی در خاک یک منطقه بزرگ در شرایط طبیعی مزرعه می تواند تعیین گردد.

در روش لایسمتر حجم کمی از خاک مزرعه دست نخورده به وسیله دیواره های بتونی و یا فلزی (شکل ۶-۲۰) از اطراف خود جدا می گردد. در هردو مورد، آبی که در داخل خاک به عمق نفوذ یافته است جمع آوری و اندازه گیری می شود. مزیت لایسمتر بر تنبوشه های زه کشی این است که از تغییرات در یک مزرعه بزرگ اجتناب می شود، لایسمترهای متعدد می تواند در یک آزمایش صحرایی تحت نظارت برای مقایسه ای نظام های مختلف مدیریت آب و خاک مورد استفاده قرار گیرند.

هدررفت ناشی از فرونشست

وقتی که میزان بارندگی رسیده به یک خاک از ظرفیت نگهداری آب خاک بیشتر شود، هدررفت ناشی از فرونشست صورت می گیرد. هدررفت ناشی از فرونشست تحت تأثیر (۱) مقدار بارندگی و توزیع آن، (۲) رواناب حاصل از زمین، (۳) تبخیر، (۴) خصوصیت خاک و (۵) سرشت پوشش گیاهی می باشد.



شکل ۶-۲۰ لایسمتر مزرعه ای که برای جمع آوری آب فرونشست از خاک دست نخورده مورد استفاده می باشد. آب در داخل خاک نفوذ یافته و به لایه ی شن و سنگ ریزه رسیده، و از آنجا در طول یک سطح شیب دار به مخزن جمع آوری هدایت می شود، که از آنجا می تواند پمپاژ شده و جمع آوری گردد. بعضی از نظام های پیشرفته تر به ادواتی مجهز می باشند که می توانند کل لایسمتر را توزین کنند. بنابراین امکان اندازه گیری جذب آب به وسیله گیاه و تبخیر و تعرق را نیز فراهم می سازند

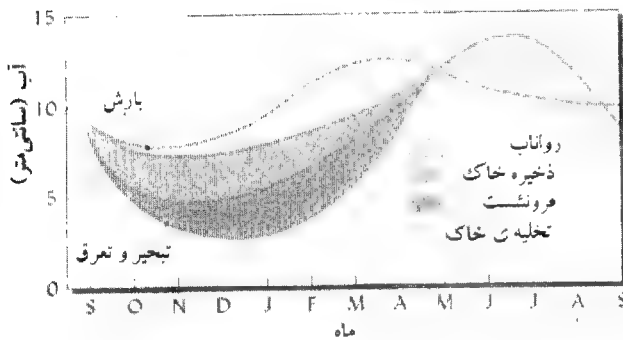
¹ - Deep percolation

² - Leaching

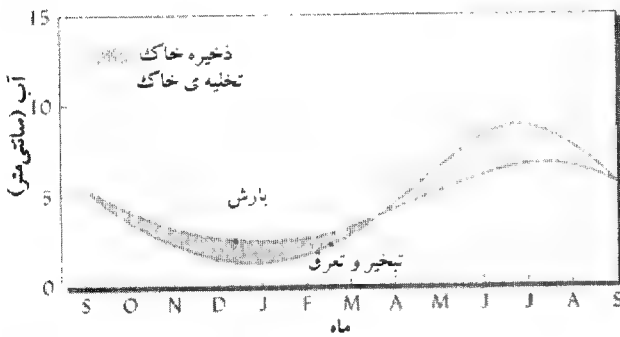
³ - Lysimeters

تبادل فرونشست و تبخیر

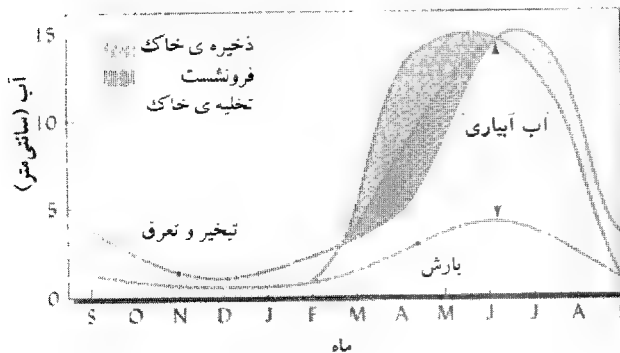
شکل ۲۱-۶ رابطه‌ی بین بارندگی، رواناب، ذخیره‌ی آب و فرونشست آب را در مناطق معرف مرطوب، نیمه‌مرطوب، و برای یک مزرعه تحت آبیاری در مناطق خشک تشریح می‌کند. در مناطق مرطوب معتدل نرخ نفوذ آب در خاک (بارندگی منهای رواناب)، حداقل در فصول خاص از میزان تبخیر و تعرق بالاتر است. به محض این‌که ظرفیت مزرعه تکمیل شود، فرونشست در لایه‌های پایین خاک صورت می‌گیرد. در مثالی که در شکل ۲۱-۶ الف نشان داده شده است پیشینه‌ی فرونشست در زمستان و اول بهار، که تبخیر در کمترین مقدار است صورت می‌گیرد. در طول تابستان، فرونشست اندکی صورت می‌گیرد. در واقع تبخیر و تعرق از بارندگی پیشی می‌گیرد که سبب تخلیه آب خاک می‌شود. رشد معمول نبات فقط به‌خاطر وجود آب ذخیره شده در خاک از زمستان قبلی و یا اول بهار امکان‌پذیر است. در منطقه‌ی نیمه‌خشک همانند منطقه‌ی مرطوب، آب در طول ماه‌های زمستان در خاک ذخیره شده و برای رفع نیاز کمبود رطوبت در تابستان مصرف می‌شود، اما به‌علت بارندگی اندک، رواناب اندک بوده و اساساً هیچ نوعی فرونشست از خاک‌رخ صورت نمی‌گیرد. آب ممکن است به لایه‌های زیرین حرکت کند اما به‌وسیله‌ی ریشه‌ی نبات جذب و نهایتاً بر اثر تعرق از دست می‌رود.



(الف) منطقه‌ی مرطوب (رویم رطوبتی خاک یدیک)



(ب) منطقه‌ی نیمه‌مرطوب (رویم رطوبتی خاک یوسیتیک)



(ج) منطقه‌ی خشک (رویم رطوبتی خاک اریدریک)، آبیاری

شکل ۲۱-۶ منحنی‌های کلی بارندگی و تبخیر و تعرق در سه منطقه معتدل: (الف) یک منطقه‌ی مرطوب، (ب) یک منطقه‌ی نیمه‌خشک و (ج) یک منطقه تحت آبیاری. به‌نوع دیگر، فرونشست داخل خاک در منطقه‌ی نیمه‌خشک توجه داشته باشید. در هر حال آب در داخل خاک ذخیره می‌شود. این رطوبت بعدها، هنگامی که میزان تبخیر و تعرق از بارندگی بیشتر می‌شود مورد مصرف قرار می‌گیرد. در منطقه‌ی نیمه‌خشک تبخیر و تعرق احتمالاً در صورت وجود رطوبت کافی در خاک بسیار بالاتر خواهد بود. در خاک‌های تحت آبیاری منطقه‌ی خشک، نیازهای تبخیر و تعرق خیلی بالا با انجام آبیاری تأمین خواهد شد. رطوبت خاک ذخیره شده در بهار با رشد بعدی نبات در تابستان مورد مصرف قرار گرفته و از طریق تبخیر و در آخر پاییز و زمستان از دسترس خارج خواهد شد.

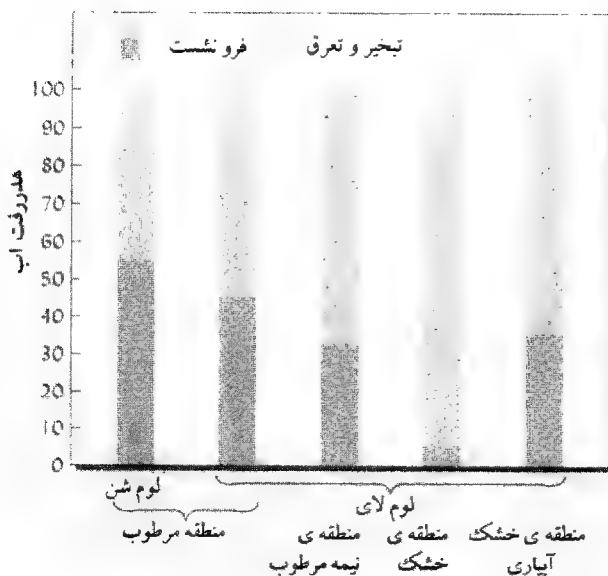
خاک‌های تحت آبیاری در مناطق خشک دارای شیوه‌ای منحصربه‌فرد می‌باشند. آبیاری در اوایل بهار همراه با بارندگی اندک آب بیشتری از آنچه که بر اثر تبخیر و تعرق از دست می‌رود فراهم می‌کند. خاک از آب اشباع شده و ممکن است تا حدی فرونشست نیز صورت گیرد. همان‌طور که در بخش ۹-۱۰ مشاهده خواهیم کرد. نظام آبیاری باید آب کافی را برای انجام مقداری فرونشست به منظور حذف نمک‌های اضافی فراهم کند. در طول ماه‌های تابستان، پاییز و زمستان، آب ذخیره شده تخلیه می‌شود زیرا آنچه به خاک اضافه شده است، از تبخیر و تعرق بالا که در پاسخ به شیب زیاد فشار بخار آب انجام می‌شود کمتر است.

موقعیتی که در شکل ۲۱-۶ آمده است شاخص مناطق معتدل است که در آن تبخیر و تعرق پتانسیل (PET) به‌طور فصلی با دما تغییر می‌کند. در مناطق حاره‌ای که دما تا حدی بالاتر اما کمتر متغیر است PET در طول سال تا حدی یکنواخت‌تر می‌باشد، گرچه با تغییرات فصلی رطوبت تغییر می‌کند. در مناطق حاره‌ای با بارندگی زیاد (رژیم رطوبتی پرپودیک)^۱ رواناب بسیار بیشتر و فرونشست بیشتری از آنچه در شکل ۲۱-۶ نشان داده شده است انجام می‌گیرد. در اراضی تحت آبیاری مناطق حاره‌ای خشک روابط مشابه به مناطق معتدل خشک نشان داده شده است.

هدررفت آب بر اثر تبخیر و تعرق و فرونشست در خاک‌های موجود و در مناطق اقلیمی متفاوت به‌طور مقایسه‌ای در شکل ۲۲-۶ آمده است این تفاوت‌ها را در هنگام مطالعه بخش بعدی در مورد فرونشست و آب‌های تحت‌الارض باید به‌خاطر داشت.

جدول ۵-۶ میزان ذخیره آب خاک از مقادیر خاک‌پوش کلشی در طول آیش در ۴ نقطه از دشت‌های بزرگ آمریکا

موقعیت	بارندگی متوسط سالانه میلی‌متر	میزان آب ذخیره شده در مقادیر مختلف خاک‌پوش، میلی‌متر		
		صفر مگاگرم در هکتار	۳/۲ مگاگرم در هکتار	۴/۴ مگاگرم در هکتار
بوش لند - تگزاس	۵۰۸	۷۱	۹۹	۹۹
اکرن - کلرادو	۴۷۶	۱۳۴	۱۵۰	۱۶۵
نورت پلات - کلرادو	۴۶۲	۱۶۵	۱۹۳	۲۱۶
سیدنی - مونتانا	۳۷۹	۵۳	۶۹	۹۴
میانگین	-	۱۰۷	۱۲۷	۱۴۵
میانگین آب اضافی بامصرف خاک‌پوش	-	-	۲۰	۳۸



شکل ۲۲-۶ درصد آب وارد شده در خاک که بر اثر فرونشست و تبخیر و تعرق از دست می‌رود، ارقام شاخص برای مناطق اقلیمی متفاوت نشان داده شده است.

۸-۶ فرونشست و آب‌های زیرزمینی

هنگامی که آب زه‌کشی به طرف پایین و به خارج از خاک حرکت می‌کند، نهایتاً با منطقه‌ای مواجه می‌شود که در آن منافذ تماماً از آب اشباع می‌باشد. معمولاً این منطقه اشباع بر روی لایه‌ای از رس و یا سنگ نفوذناپذیر قرار گرفته است. سطح بسالایی این منطقه اشباع سطح ایستابی^۱ نامیده می‌شود و آب واقع در منطقه اشباع آب زیرزمینی نام دارد. آب زیرزمینی^۲ (شکل ۲۳-۶) در مناطق مرطوب فقط از ۱ تا ۱۰ متر در زیر سطح خاک قرار گرفته اما در مناطق خشک ممکن است صدها و یا حتی هزارها متر عمیق باشد. در باتلاق‌ها سطح ایستابی در سطح خاک قرار گرفته است.

منطقه‌ی غیراشباع بر روی سطح آب زیرزمینی، منطقه‌ی خشکه^۳ (شکل ۲۳-۶ و شکل ۲۴-۶) نامیده می‌شود. منطقه‌ی خشکه ممکن است منطقه‌ی غیراشباع واقع در زیر خاک‌رخ را شامل گردیده، و به‌طور قابل ملاحظه‌ای از خاک عمیق‌تر باشد. گرچه در بعضی موارد، ممکن است منطقه اشباع چنان در بالا قرار گرفته باشد که افق‌های پایین را نیز دربر گرفته و منطقه‌ی خشکه محدود به افق‌های فوقانی گردد.

آب زیرزمینی کم‌عمق آب زه‌کشی نفوذ یافته را دریافت می‌کند. بیشتر آب‌های زیرزمینی نیز به‌طور جانبی به‌داخل مواد زمین‌شناختی نفوذپذیر نشت نموده (که آب‌خوان نامیده می‌شود)^۴، و سرانجام به‌داخل چشمه‌ها و یا رودخانه‌ها تخلیه می‌گردند. آب زیرزمینی ممکن است به وسیله‌ی پمپاژ برای مصارف خانگی و آبیاری خارج گردد. سطح ایستابی ممکن است در ارتباط با تعادل بین مقدار آب زه‌کشی وارد شده از خاک و میزان خارج شده به‌وسیله‌ی آب‌کشی (پمپاژ) و یا نشت طبیعی به رودخانه‌ها و چشمه‌ها تواس داشته باشد (به بالا و پایین حرکت کند). در مناطق معتدل مرطوب سطح ایستابی در اول بهار به دنبال بارندگی‌های زمستانه و ذوب برف قبل از این که تبخیر و ترقق شروع به تخلیه‌ی آب ذخیره شده کند در بالاترین حد می‌باشد.

منابع آب زیرزمینی

آب زیرزمینی منبع مهمی از آب برای مصارف خانگی، صنعتی و کشاورزی می‌باشد. برای نمونه حدود ۲۰ درصد آب مصرف شده در کشور آمریکا از منابع زیرزمینی بدست می‌آید، و حدود ۵۰ درصد مردم از آب زیرزمینی برای رفع بعضی از نیازهای خود استفاده می‌کنند. آب‌خوان‌های کم‌عمق که سالانه ذخیره‌ی آن‌ها تجدید می‌شود آب لازم را برای مزارع و منازل روستایی فراهم می‌آورد (شکل ۲۳-۶). ذخایر آب زیرزمینی بزرگ‌تر در آب‌خوان‌های عمیق‌تر که برای تجدید ذخیره‌ی آن‌ها ده‌ها سال و یا قرن‌ها وقت لازم است معمولاً برای رفع نیازهای شهری، صنعتی و آبیاری پمپاژ می‌شوند. در بسیاری از موارد چاه‌های عمیق برای استخراج آب از آب‌خوان‌های محدود شده در بین لایه‌های غیرقابل نفوذ (لایه فاقد آب)^۵ مورد استفاده می‌باشد. وقتی آب‌خوان در سطح آشکار شود آب آن عمدتاً به وسیله نشت افقی آرام از مناطق تغذیه^۶ مجاور دوباره ذخیره می‌شود.

اهمیت منطقه‌ای آب‌خوان‌های زیرزمینی به‌وسیله‌ی آب‌خوان اوگالالا^۷ که در زیر بخش عمده‌ای از دشت‌های بزرگ آمریکا^۸ قرار گرفته است قابل تشریح است. این آب‌خوان سبب گشته است آب کافی (موقتاً؟) برای تغییر اقتصاد متکی به مراتع پرورش گاو و زراعت دیم منطقه به کشاورزی پرتولید آبی فراهم شود، با همین مشابیهت، مناطق عمده‌ی سان‌آنتونیو^۹ و استین^{۱۰} وابسته به آب‌خوان ادوارد^{۱۱} و آب آن در جنوب تگزاس مرکزی می‌باشند.

آب زه‌کش شده از خاک منبع عمده‌ی تغذیه‌ی بیشتر منابع آب زیرزمینی است. تا مادامی که آب سریع‌تر از آن‌چه فرونشست امکان جبران آن را داشته باشد تخلیه نگردد آب زیرزمینی یک منبع قابل تجدید به حساب می‌آید. هرچند در بعضی مناطق آب سریع‌تر از آن‌چه قابل جبران است تخلیه می‌گردد، فعالیتی که سبب پایین رفتن سطح ایستابی و تخلیه منابع درست شبیه استخراج کانی‌ها از معادن می‌شود. میزان پمپاژ این آب‌خوان‌های فاقد مدیریت و یا با مدیریت ضعیف تا ۲۰۰ بار بیشتر از میزان تغذیه‌ی آن‌هاست. در آب‌خوان‌های عمیق،

¹ - Water table

² - Ground water

³ - Vadose

⁴ - Aquifers

⁵ - Aquiclude

⁶ - Recharge area

⁷ - Ogallala

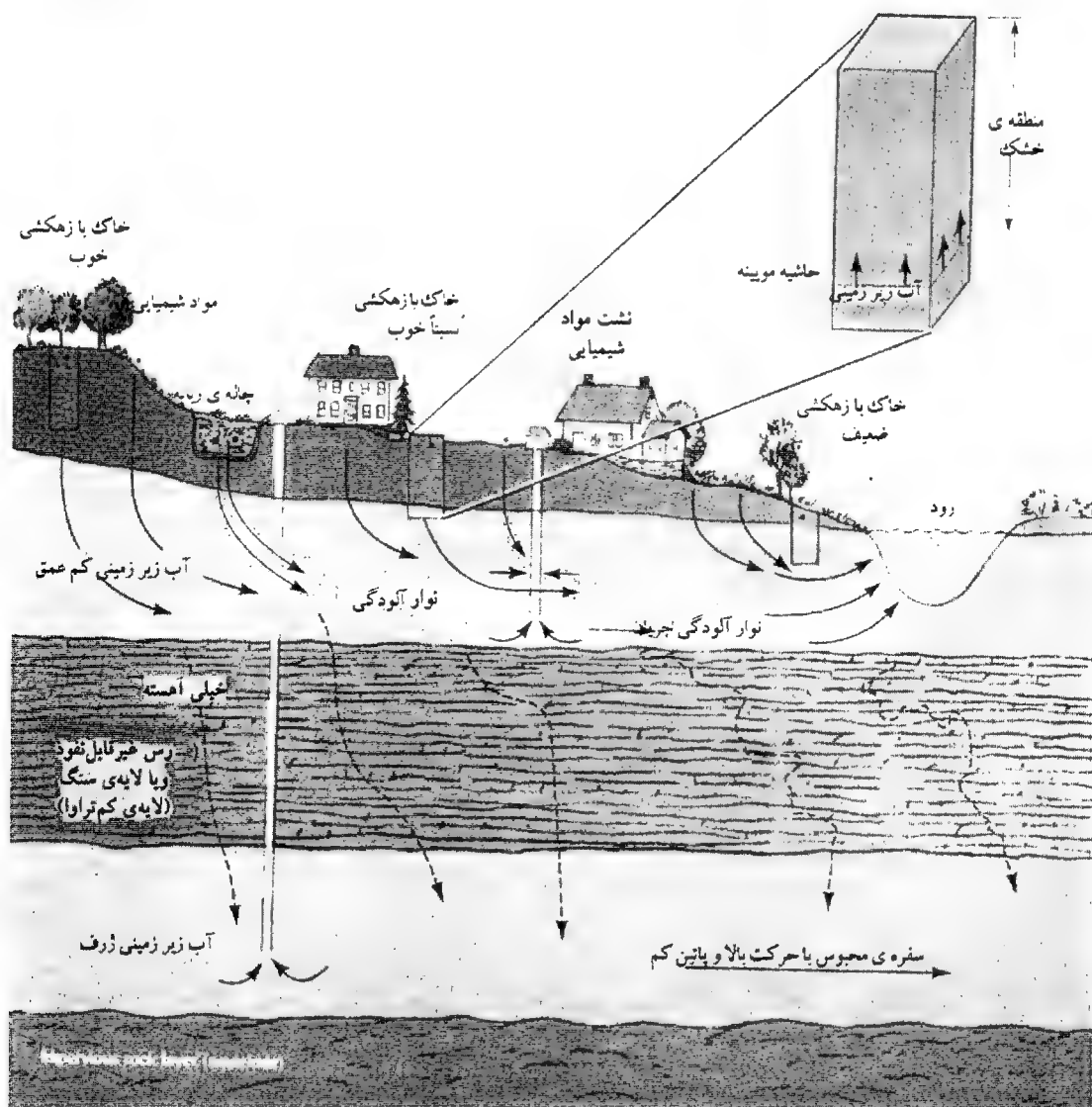
⁸ - Great plain

⁹ - Son antonio

¹⁰ - Austin

¹¹ - Edward

مانند اوگالالا، آبی که هزاران سال قبل به پایین نفوذ کرده است بسیار سریع‌تر از آنچه تغذیه کرده خارج می‌شود. نهایتاً این سطح ایستابی پایین رفته و آب‌خوان بالاخره و به‌طور کلی از تامین آب باز می‌ماند.



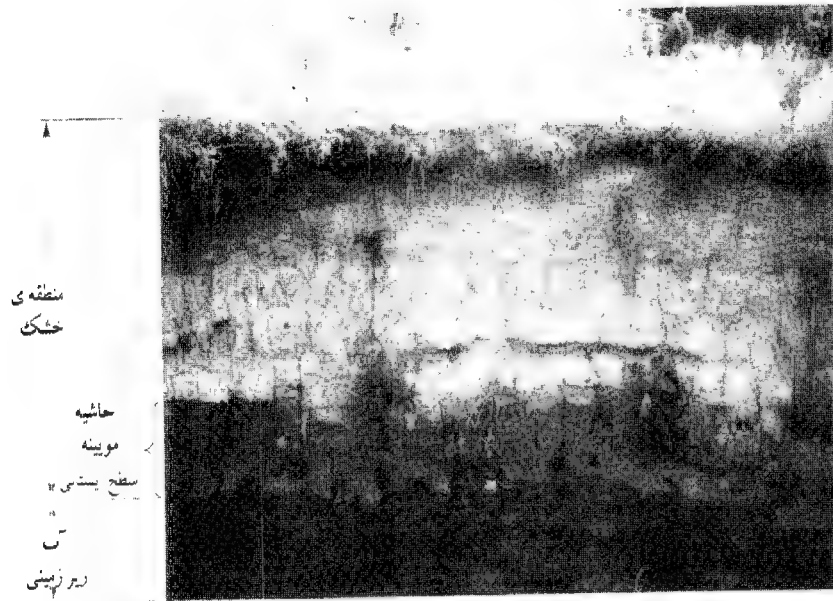
شکل ۲۳-۶ رابطه‌ی سطح ایستابی و آب زیرزمینی با حرکت آب به داخل خاک و با خارج از آن. آب آبیاری و بارندگی بر اثر نیروی ثقل از خاک‌رخ به پایین حرکت می‌کند (آب ثقلی) و نهایتاً به سطح ایستابی و آب زیرزمینی کم‌عمق زیر آن می‌رسد. منطقه‌ی غیراشباع در بالای سطح ایستابی منطقه خشک نامید می‌شود. وقتی آب بر اثر تبخیر و تعرق از خاک خارج می‌شود، آب زیرزمینی به وسیله‌ی نیروی موینه از سطح ایستابی به بالا حرکت می‌کند که به آن حاشیه موینه^۱ گفته می‌شود. آب زیرزمینی به‌طور افقی در جهت شیب اراضی به رودخانه‌ی نزدیک حرکت نموده و مواد شیمیایی آیشویی شده از خاک، از جمله عناصر غذایی اصلی (ازت، فسفر، کلسیم و غیره)، و همچنین آفت‌کش‌ها و سایر آلاینده‌های حاصل از فاضلات شهری، صنعتی و کشاورزی را با خود حمل می‌کند. آب زیرزمینی منبع عمده آب برای چاه‌ها می‌باشد، چاه‌های کم‌عمق آب زیرزمینی را از نزدیک سطح و چاه‌های عمیق منابع عمیق و گسترده آب زیرزمینی را تخلیه می‌کنند. ۲ نوار آلاینده در شکل نشان داده شده یکی از شیرابه‌های حاصل از چاله‌های دفع زباله سرچشمه گرفته و دیگری از نشت مواد شیمیایی، به‌نظر می‌رسد اولی در آلودگی چاه‌های کم‌عمق مؤثر است.

^۱ - Capillary fringe

هنگامی که آبخوان ساحلی خارج از ظرفیت پمپاژ صوت می گیرد، مسأله‌ی دیگری رخ می دهد. وقتی آب شیرین سریع تر از میزان نفوذ و نشست آب شیرین پمپاژ شود، آب دریا تحت فشار راه خود را به داخل آبخوان باز می کند، فرایندی که به آن نشست آب نمک^۱ (در شکل ۶-۲ تشریح شده است) گفته می شود. به زودی چاه‌های عمیق شهری به جای آب شیرین آب شور را خارج می کنند.

آب‌های زیرزمینی کم عمق

آب زیرزمینی در نزدیک سطح می تواند به عنوان یک منبع ذخیره رفت و برگشتی آب برای خاک عمل کند. با خارج ساختن آب از خاک به وسیله گیاهان آب می تواند بر اثر حرکت مویینه رو به بالا از سطح ایستایی کم عمق جایگزین گردد. این منطقه که به وسیله حرکت آب مویینه مرطوب می شود به حاشیه مویینه مشهور است (شکل ۶-۲۴). این حرکت می تواند یک منبع مداوم و قابل توجه از آب عرضه کند که می تواند گیاهان را قادر می سازد تا ماه‌ها با بارندگی اندک زنده باقی بمانند.^۲



شکل ۶-۲۴ سطح ایستایی، حاشیه مویینه، منطقه غیر اشباع در بالای سطح ایستایی (منطقه خشک) و آب زیرزمینی در این عکس تشریح شده اند. آب زیرزمینی می تواند آب قابل توجهی را برای جذب گیاهان فراهم کند.

حرکت مواد شیمیایی در آب زه کشی

فرونشست آب از خاک به سطح ایستایی نه تنها سبب تغذیه آب زیرزمینی می گردد، بلکه سبب انحلال و انتقال مواد شیمیایی آلی و معدنی موجود در خاک و یا در سطح آن طرف به پایین می شود. مواد شیمیایی آبشویی شده از خاک به آب زیرزمینی (نهایتاً به جویبارها و رودخانه‌ها) شامل عناصر حاصل از هوازدگی کانیها، ترکیبات طبیعی آلی حاصل از تجزیه پسماندهای گیاهی، عناصر غذایی حاصل از منابع طبیعی و یا انسانی و مواد شیمیایی مصنوعی متنوع (که خواسته و یا ناخواسته در خاک استعمال می شوند) می باشد. در مورد عناصر غذایی گیاهی به خصوص ازت، حرکت روبه پایین از داخل خاک به داخل آب‌های تحت الارضی زیرین دارای دو جنبه‌ی عملی مهم می باشد: اول آبشویی این مواد شیمیایی بیانگر تخلیه‌ی منابع غذایی از منطقه ریشه نبات است (بخش ۲-۱۶ را مشاهده کنید)، و دوم تراکم این عناصر غذایی در استخرها، دریاچه‌ها، مخازن و سطوح ایستایی پایین تر ممکن است سبب تقویت فرایند غنی شدن گردد^۳ که نهایتاً سبب تخلیه میزان اکسیژن شده و اثرات مصیبت باری بر ماهی و سایر آبزیان دارد (بخش ۲-۱۴ را مطالعه کنید). همچنین، در بعضی مناطق منابع زیرزمینی آب آشامیدنی ممکن است در اثر نترات اضافی در سطوحی که برای مصرف انسان ناسالم است دچار آلودگی گردد (بخش ۸-۱۳ را مشاهده کنید). نکته قابل توجه بیشتر، آلودگی آب زیرزمینی با ترکیبات مصنوعی بسیار سمی مانند آفت کش‌ها و مواد حاصل از تجزیه آن‌ها، و یا مواد شیمیایی حاصل از مناطق دفع زباله است (فصل ۱۸ را برای بحث در جزئیات این خطرات آلودگی مطالعه کنید). شکل ۶-۲۳ تشریح می کند که چگونه آب زیرزمینی به وسیله این مواد شیمیایی آلوده می شود، و چگونه یک نوار آلودگی به چاه‌ها و منابع آب زیرین گسترش می یابد.

^۱ - Salt water Intrusion

^۲ در صورت نمک‌داری بودن آب زیرزمینی، صعود مویینه از سفره آب زیرزمینی کم عمق می تواند سبب عرضیه مداوم نمک‌ها در سطح گردد.

^۳ - Eutrophication

حرکت مواد شیمیایی از داخل منافذ درشت

مطالعه‌ی حرکت مواد شیمیایی در داخل خاک‌ها، و از خاک‌ها به آب زیرزمینی و منابع پایاب، سبب جلب توجه به نقش حیاتی این‌ها شده به‌وسیله‌ی منافذ درشت خاک در تعیین هدایت آبی مزرعه (بخش ۵-۵ را مشاهده کنید) گردیده است. طرز قرار گرفتن منافذ در اکثر خاک‌ها غیریکنواخت است. ریشه‌راه‌های قدیمی، حفرات کرم‌های خاکی و ترک‌های ناشی از انقباض رس سبب می‌شود که منافذ درشت مسیری برای جریان سریع آب از سطح خاک تا عمق ۱ متر و بیشتر فراهم کنند.

وقتی مواد شیمیایی به زیر منطقه‌ی دارای بیشترین مقدار ریشه و فعالیت میکروبی انتقال می‌یابند، بعید به‌نظر می‌رسد که قبل از رسیدن به آب زیرزمینی از بین رفته و یا تجزیه گردند. این بدان‌معنی است که مواد شیمیایی که به‌طور معمول در داخل خاک به‌وسیله‌ی ریز جانداران خاک تجزیه می‌شوند در طول چند هفته قبل از این که مورد تجزیه قرار گیرند از طریق منافذ درشت به‌طرف پایین و آب زیرزمینی حرکت می‌کنند.

جریان کنارگذر (ترجیحی)^۱: در بعضی موارد آبشویی مواد شیمیایی صرفاً اگر در سطح خاک توزیع یابند بسیار مهم است. همان‌طور که در شکل ۶-۲۵ نشان داده شده است، ممکن است مواد شیمیایی از سطح خاک به‌داخل منافذ درشت آبشویی شده و از آن طریق می‌توانند به سرعت به‌طرف پایین حرکت کنند. برپایه تحقیقات انجام‌شده، که اکثر آبی که از طریق منافذ درشت جریان می‌یابد در تماس با توده خاک قرار نمی‌گیرند. این جریان بعضی مواقع جریان کنارگذر نامیده می‌شود زیرا تمایل دارد که به‌جای جریان در داخل ماتریکس خاک به سرعت از اطراف آن جریان یابد. در نتیجه اگر مواد شیمیایی با چند سانتی‌متر فوقانی خاک مخلوط شوند حرکت آن‌ها به داخل منافذ درشت کاهش یافته و آبشویی رو به پایین آن‌ها شدیداً کند می‌شود.

شدت بارندگی یا آبیاری: جریان آب و مواد شیمیایی از داخل منافذ درشت مانند شکاف‌های قایم و مسیرهای بیان شده قبلی هنگامی که آب با شدت زیادی بر اثر بارندگی و یا آبیاری مصرف گردد، بسیار چشم‌گیر خواهد بود. وقتی که حجم بزرگی از آب به سرعت استعمال گردد، تا حدی اشباع موضعی صورت گرفته و سبب تشدید جریان در منافذ درشت می‌شود. جدول ۶-۶ اثرات شدید بارندگی را بر روی آبشویی آفت‌کش‌های مصرف شده در چمن تورف نشان می‌دهد.

دستکاری منافذ درشت خاک و شدت آبیاری دو نمونه‌ی شاهد از تأثیر فعالیت‌های انسانی بر چگونگی کیفیت محیط زیست، که آن به‌نوبه‌ی خود می‌تواند به‌وسیله‌ی فعالیت‌های انسان که در چرخه آبی مؤثر است، می‌باشد. بر همین منوال ما، اقداماتی را که باید به‌عمل آورد تا در نفوذ آب به‌داخل خاک و تولید پیشینه‌ی مقدار تولید زیاده گیاهی از آب ذخیره شده در خاک مؤثر باشد مورد ملاحظه قرار داده‌ایم. اگر سه اقدام دیگر به‌شرح زیر در تغییر چرخه آبی به‌طور مجمل مورد ملاحظه قرار نگیرد، تصویر کامل نخواهد بود.

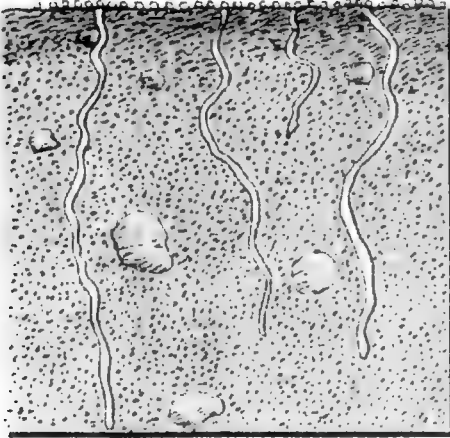
۱- استفاده از زه‌کشی مصنوعی برای ارتقاء فرونشست آب اضافی از بعضی خاک‌ها؛ ۲- استعمال پساب‌ها در خاک به‌عنوان محیطی برای دفع فاضلاب ۳- استفاده از آبیاری برای تأمین آب مورد نیاز رشد گیاهی ابتدا زه‌کشی مصنوعی را مورد توجه قرار خواهیم داد.

جدول ۶-۶ تأثیر شدت استعمال آب بر روی آبشویی آفت‌کش‌ها در داخل خاک مولی‌سول تحت پوشش چمن، آزمایش بر روی ستون‌های خاک دست نخورده با قطر ۲۰ سانتی‌متر با ساختمان طبیعی که شامل حفرات کرم‌ها بود انجام گرفت تمام ستون‌های خاک ۲/۵۴ سانتی‌متر باران مصنوعی در طول هفته و برای ۴ هفته دریافت داشتند. درحالی‌که در بارندگی شدید در ۴ نوبت، هر نوبت ۲/۵۴ سانتی‌متر مصرف شد، باران سبک در ۱۶ نوبت با فواصل زمانی مساوی هر نوبت با شدت ۰/۶۴ سانتی‌متر مصرف گردید. متالاکسیل در مقایسه با ایزازفوس در آب بسیار محلول‌تر است. اما در هر مورد باران شبیه سازی شده شدید سبب آبشویی آفت‌کش بیشتری از داخل منافذ درشت خاک گردید.

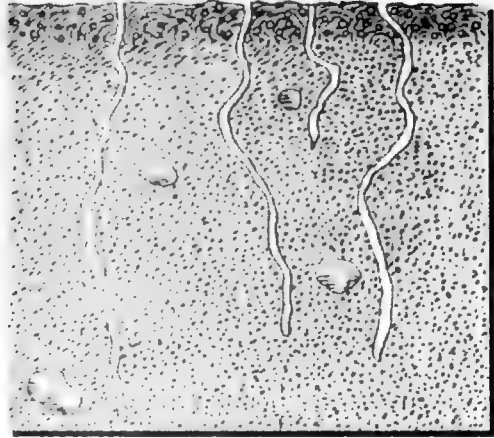
آفت‌کش	آفت‌کش آبشویی شده به‌صورت درصدی که در سطح مصرف گردیده است	
	باران سنگین	باران سبک
ایزازفوس	۸/۸	۳/۴
متالاکسیل	۲۳/۸	۱۳/۹

قبل از باران

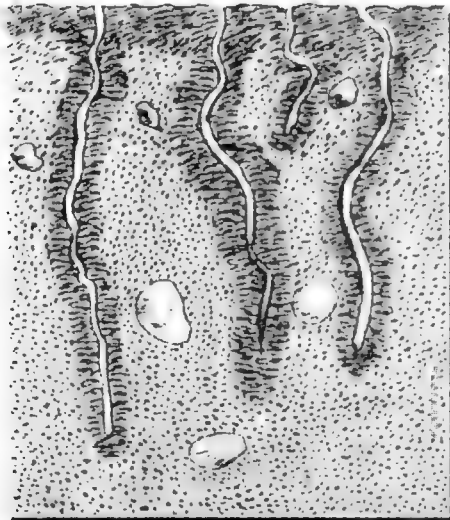
مواد شیمیایی در سطح خاک



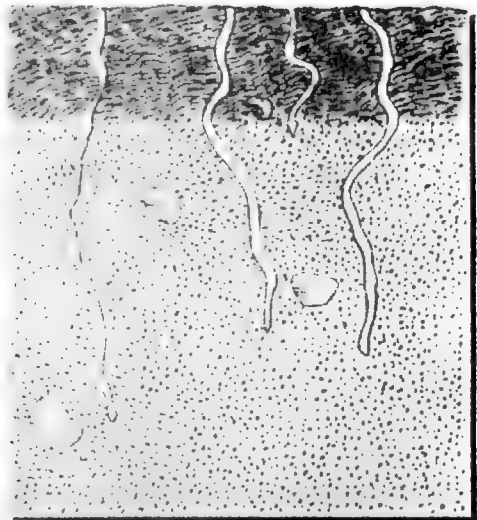
مواد شیمیایی مخلوط شده با خاک



بعد از باران



نفوذ مواد شیمیایی



شکل ۶-۲۵ جریان ترجیحی و یا کنارگذر در منافذ درشت سبب انتقال مواد شیمیایی محلول در داخل خاکرخ به طرف پایین می‌گردد. وقتی مواد شیمیایی در سطح خاک قرار دارد (سمت چپ)، و بتواند در آب ماندابی سطحی^۱ هنگام بارندگی حل شود، ممکن است به سرعت در داخل ترکها، حفره‌های کرم خاکی و سایر منافذ درشت انتقال یابد. وقتی مواد شیمیایی در داخل ماتریکس خاک در لایه‌های سطحی توزیع گردد (سمت راست)، اکثر آبی که از داخل منافذ به پایین حرکت می‌کند از کنار مواد شیمیایی عبور کرده و بنابراین میزان اندکی از آنها به پایین انتقال خواهد یافت

۶-۹ بهبود زه‌کشی خاک

بعضی از خاک‌ها مستعدند که در بخش فوقانی خاکرخ برای مدت‌های طولانی برخی و یا تمام سال از آب اشباع باشند. اشباع طولانی ممکن است به خاطر موقعیت پست اراضی باشد که خاک در آن قرار گرفته است، به طوری که سطح ایستابی ناحیه‌ای برای مدت‌های مدید در سطح و یا در نزدیکی سطح خاک قرار داشته باشد. در دیگر خاک‌ها آب ممکن است در بالای یک لایه‌ی غیرقابل نفوذ در خاکرخ تجمع یافته و یک سطح ایستابی آویزان^۲ را ایجاد کند (شکل ۶-۲۶) خاک‌ها در هر دو نوع اشباع ممکن است ایجاد اراضی ماندابی (بخش ۸-۷ را مشاهده کنید) را بکنند که یک زیست‌بوم انتقالی در بین اراضی و آب باشد.

^۱ - Surface ponded water

^۲ - Perched water table

دلایل ارتقای زه‌کشی خاک

شرایط اشباع آب و تهویه ضعیف خاک برای ایفای نقش معمول زیست بوم‌های اراضی ماندابی و بقای بسیاری از گونه‌های گیاهی آن اراضی اساسی می‌باشد، هرچند برای اکثر کاربری‌های دیگر این شرایط خود خسارت آشکار است.

مسائل مهندسی: در طول ایجاد سازه، گلی بودن و مقاومت اندک تحمل بار در خاک اشباع برای کار ماشین‌آلات بسیار مشکل است (بخش ۹-۴ را مشاهده کنید). ساختمان‌های ایجاد شده بر روی خاک‌های دارای زه‌کشی ضعیف ممکن است مواجه با نشست و آب‌گیری غیریکتواخت سردابه‌ها در طول ایام مرطوب گردد. به‌طور مشابه، یک سطح ایستابی بالا سبب صعود مویینه آب به‌داخل بستر جاده‌ها و اطراف پی‌ها و پایین‌آمدن مقاومت خاک و بروز خسارت‌های ناشی از ورایش در صورت یخ زدن آب در زمستان شود. حرکت کامیون‌های سنگینی که بر روی یک جاده‌ی آسفالتی که در زیر آن سطح ایستابی کم‌عمق قرار گرفته است سبب ایجاد چالاب، و نهایتاً خراب‌شدن جاده می‌شود. تولید گیاهی: در خاک‌های اشباع تولید اکثر زراعت‌ها و گونه‌های جنگلی اگر غیرممکن نباشد مشکل است. اشباع طولانی انجام عملیات را در زمان مناسب مشکل می‌سازد، زیرا تراکتور و دیگر تجهیزات مورد استفاده برای عملیات کاشت، شخم و شیار و برداشت سبب ایجاد شیارهای عمیق گردیده و به‌طور مکرر در باتلاق فرو می‌روند. حتی در صورت استقرار یک زراعت و یا جنگل شرایط تهویه نامناسب سبب توقف رشد آن‌ها می‌شود، زیرا ریشه اکثر گیاهان به‌استثنای چند گونه‌ی سازگار (درختان کاج عربیان، برنج و نی) نیاز به خاک دارای تهویه مناسب برای تنفس می‌باشند. (بخش ۲-۷ را مشاهده کنید). به‌علاوه، سطح ایستابی سطحی در ابتدای فصل رشد سبب محدود کردن ریشه‌ها در یک لایه کم‌عمق خاک با تهویه ضعیف می‌گردد. نظام ریشه محدود شده در فصول بعدی وقتی هوا خشک‌تر شد و سطح ایستابی به‌سرعت پایین افتاد با تنش آب مواجه می‌گردد (شکل ۲۷-۶).

به این دلیل و یا دلایل دیگر شبکه‌های زه‌کشی مصنوعی برای آب اضافی (آب ثقیلی)، و پایین آوردن سطح ایستابی در خاک با زه‌کشی ضعیف به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است. زه‌کشی در اراضی مورد نظر تقریباً در تمام اقالیم انجام گرفته است، اما عمدتاً در بیشترین موارد برای ارتقاء توان تولیدات کشاورزی در خاک‌های رسی ته‌نشستی و دریاچه‌ای مورد استفاده بوده است. شبکه‌های زه‌کشی یکی از اجزاء حیاتی نظام‌های آبیاری مناطق خشک است (اگر چه در بعضی موارد مسامحه شده است) که برای حذف نمک‌های اضافی و جلوگیری از باتلاقی‌شدن مورد استفاده می‌باشند.

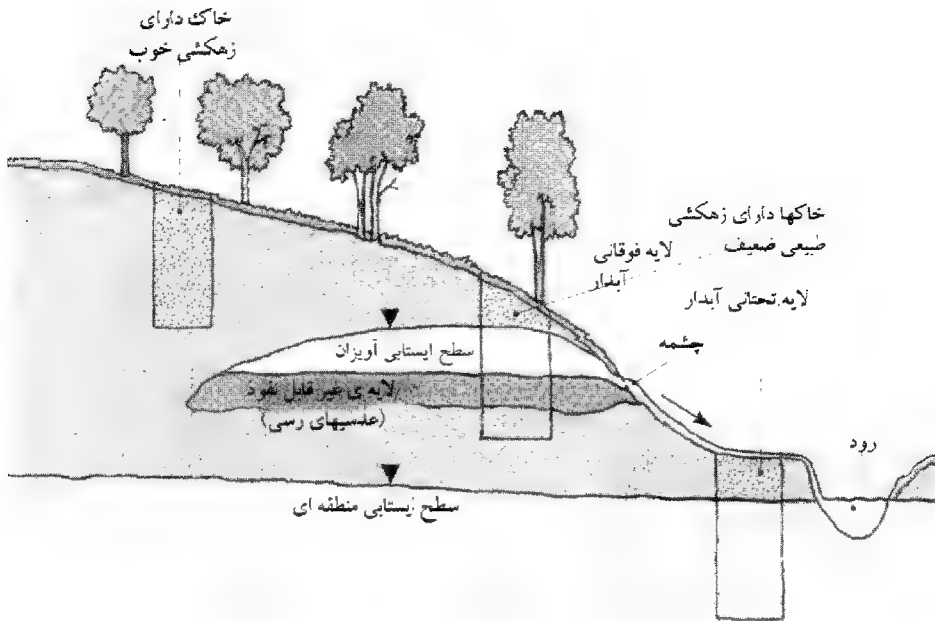
زه‌کشی مصنوعی سبب تغییر عمده در نظام اراضی می‌شود. فهرست زیرین از منافع بالقوه و اثرات زیان‌آور باید به‌دقت مورد ملاحظه قرار گیرد. همچنین توجه داشته باشید در بسیاری از موارد در قوانین حفاظت اراضی مرطوب، کسب اجازه مخصوص برای نصب شبکه‌های زه‌کشی جدید ضروری می‌باشد.

مزایای زه‌کشی مصنوعی

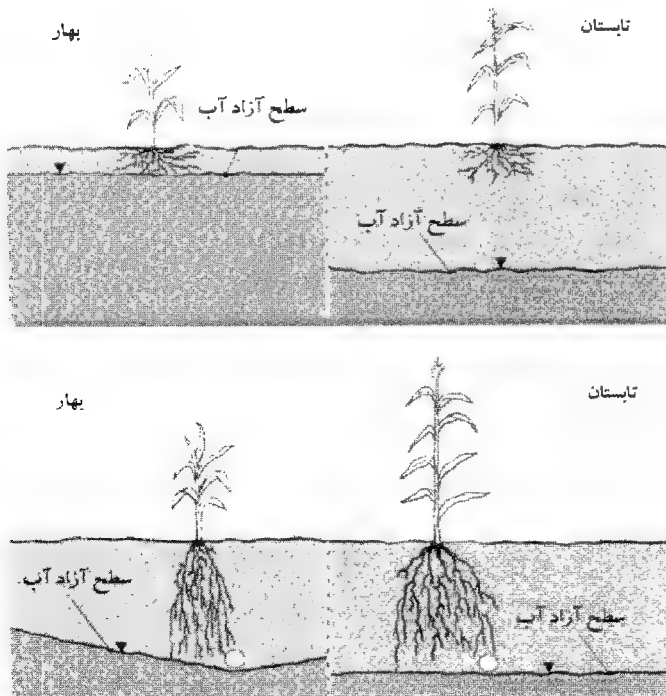
۱- افزایش مقاومت فشاری و قابلیت کار خاک، که امکان انجام عملیات بموقع صحرایی و دستیابی بیشتر به تردد ماشین‌آلات و یا پیاده‌روی (در امکانات تفریحی) را فراهم می‌سازد ۲- کاهش ورایش ناشی از یخ‌بندان پی‌ها، پیاده‌روها و گیاهان زراعی (شکل ۱۹-۷ را مشاهده کنید) ۳- ارتقای عمق انتشار رشد ریشه و توان تولید اکثر نباتات مناطق مرتفع به‌علت تأمین بهتر اکسیژن و سمیت کمتر منگسر و آهن در خاک‌های اسیدی (بخش ۴-۷ و ۶-۷ را مشاهده کنید). ۴- کاهش میزان آلودگی قارچی در بذرها و نباتات جوان ۵- گرم‌شدن سریع‌تر خاک در بهار که سبب رسیدن زودتر محصول می‌شود (بخش ۱۲-۷ را مطالعه کنید). ۶- تولید کمتر متان و گازهای ازت که سبب خسارت زیست‌محیطی در مقیاس جهانی می‌شود. (بخش ۱۱-۱۲ و ۹-۱۳ را مشاهده کنید). ۷- خارج‌ساختن نمک‌های اضافی از خاک‌های تحت آبیاری و جلوگیری از تراکم نمک در اثر صعود مویینه در مناطق دارای آب تحت‌الارضی شور (بخش ۳-۱۰ را مشاهده کنید).

اثرات زیان‌بار زه‌کشی مصنوعی

۱- کاهش سکونت‌گاه‌های حیات وحش، به‌خصوص محل‌های جفت‌گیری و زمستان‌گذرانی پرندگان آبی، ۲- کاهش هضم عناصر غذایی و سایر نقش‌های زیست‌شیمی اراضی مرطوب (بخش ۸-۷ را مشاهده کنید). ۳- افزایش آیشویی نیترات‌ها و سایر آلاینده‌ها به آب زیرزمینی ۴- هدررفت سریع ماده‌ی آلی که سبب فرو نشست برخی خاک‌ها می‌شود (بخش‌های ۱۰-۱۲، ۱۲-۱۲). ۵- افزایش شدت و تکرار سیلگیری به‌دلیل هدررفت ظرفیت نگهداری آب. ۶- هزینه بیشتر خسارات وقتی است که سیلگیری در خاک‌های ته‌نشستی اصلاح شده به‌دنبال زه‌کشی رخ می‌دهد. شبکه‌های زه‌کشی مصنوعی برای انجام دو نوع زه‌کشی عمومی ۱- زه‌کش سطحی ۲- زه‌کشی زیرزمینی طراحی شده‌اند که هر کدام مختصراً تشریح خواهند شد.



شکل ۲۶-۶ مقطع عرضی چشم انداز اراضی که نشان دهنده سطح ایستایی منطقه ای و آویزان در ارتباط با سه نوع خاک می باشد. یکی دارای زهکش خوب و دو خاک دیگر با زهکش داخلی ضعیف. طبق قرار داد یک مثلث (▼) برای تعیین سطح ایستایی به کار می رود. خاکی که دارای سطح ایستایی آویزان می باشد در بخش فوقانی مرطوب بوده اما بعد از لایه غیر قابل نفوذ غیر اشباع می باشد و به آن اپی کواتیک^۱ (لایه فوقانی آب دار) گفته می شود. (در لاتین اپی به معنی بالا است). در حالی خاکی که بر اثر آب زیر زمینی منطقه ای اشباع می شود. اندو اکواتیک^۲ (لایه تحتانی آب دار) گفته می شود (در لاتین اندو به معنی زیر است) زهکشی مصنوعی کمک می کند که هر دو سطح ایستایی پایین بروند.



شکل ۲۷-۶ تشریح سطح ایستایی در اراضی فاقد زهکشی و در اراضی دارای زهکشی تنبوه ای در بهار و تابستان. مزایای زهکشی شامل رشد شدید زود هنگام و همین طور نظام گسترده تر ریشه است که قادر می باشد هنگام خشک شدن خاک رخ حجم بیشتری از خاک را برای کسب آب مورد بهره برداری قرار دهد.

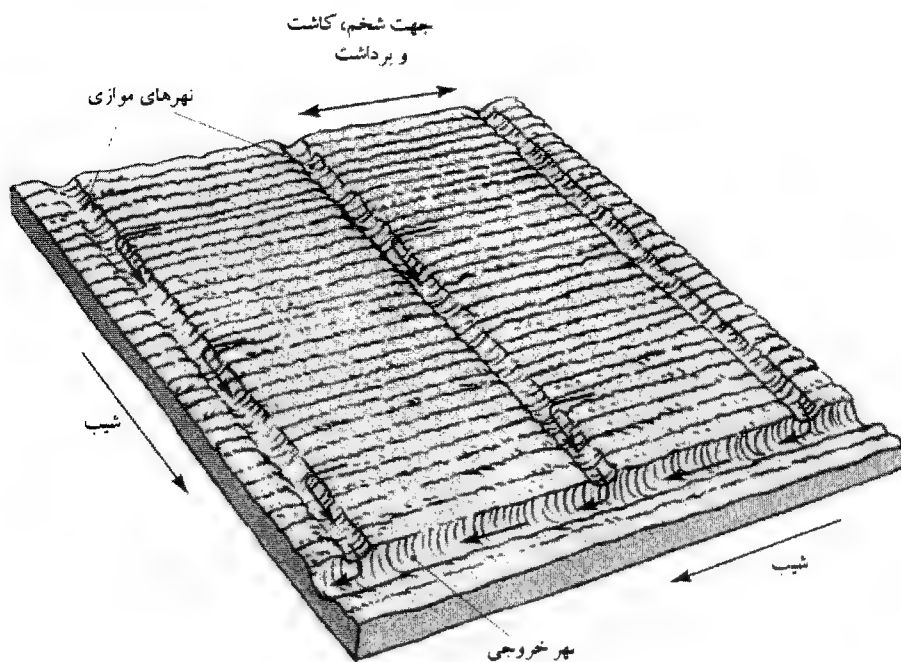
^۱ - Epiaquatic
^۲ - Endoaquatic

شبکه‌های زه‌کشی سطحی

این نوع زه‌کش به‌طور گسترده‌ای به‌خصوص در اراضی تقریباً مسطح و خاک‌های دارای بافت ریز با زه‌کشی داخلی (فرونشست) کند مورد استفاده می‌باشد هدف این نظام هدایت آب به بیرون اراضی قبل از نفوذ آن به‌داخل خاک است

نهرهای زه‌کشی سطحی: بیشتر نظام‌های زه‌کشی سطحی سبب تسریع در رواناب سطحی با ایجاد نهرهای کم‌عمق با شیب آرام جانبی می‌گردد که در تردد تجهیزات نیز مزاحمتی ایجاد نمی‌کند. اگر زمین دارای شیب باشد نهرهای کم‌عمق در عرض شیب و عمود بر کشت‌وکار انجام می‌گیرد بنابراین سبب هدایت آب در هنگام جریان آن به سمت پایین می‌شود (شکل ۶-۲۸) این نهرها می‌توانند با ادوات ساده با قیمت اندک ایجاد گردند. برای جمع‌آوری آب سطحی از چمن‌کاری‌های طراحی شده این نظام زه‌کشی می‌تواند به‌وسیله‌ی ایجاد ناهمواری‌ها^۱ به جای نهرها تغییر یابد.

طراحی اراضی: نهرهای زه‌کشی سطحی اغلب با طراحی اراضی و یا هموار نمودن^۲ برای رفع مانده‌ایی بودن و سهولت برداشت رواناب همراه است (شکل ۶-۲۹). با استفاده از تجهیزات دقیق تسطیح که به‌وسیله‌ی لیزر هدایت می‌شود، برجستگی‌های کوچک تراشیده شده و گودی‌ها پر می‌شوند. اراضی تسطیح شده‌ی حاصل امکان حرکت آب اضافی را در یک میزان تنظیم شده در سطح خاک به‌داخل نهر خروجی، سپس به آبراهه‌ی زه‌کشی طبیعی فراهم می‌سازند. هموار کردن اراضی همچنین معمولاً برای آماده کردن مزارع برای آبیاری سیلابی انجام می‌گیرد (بخش ۱۱-۶ را مشاهده کنید).



شکل ۶-۲۸ نمونه‌ای از یک نظام زه‌کشی نهر روباز برای انجام زه‌کشی سطحی در یک مزرعه با شیب آرام

زه‌کشی زیرزمینی (داخلی)

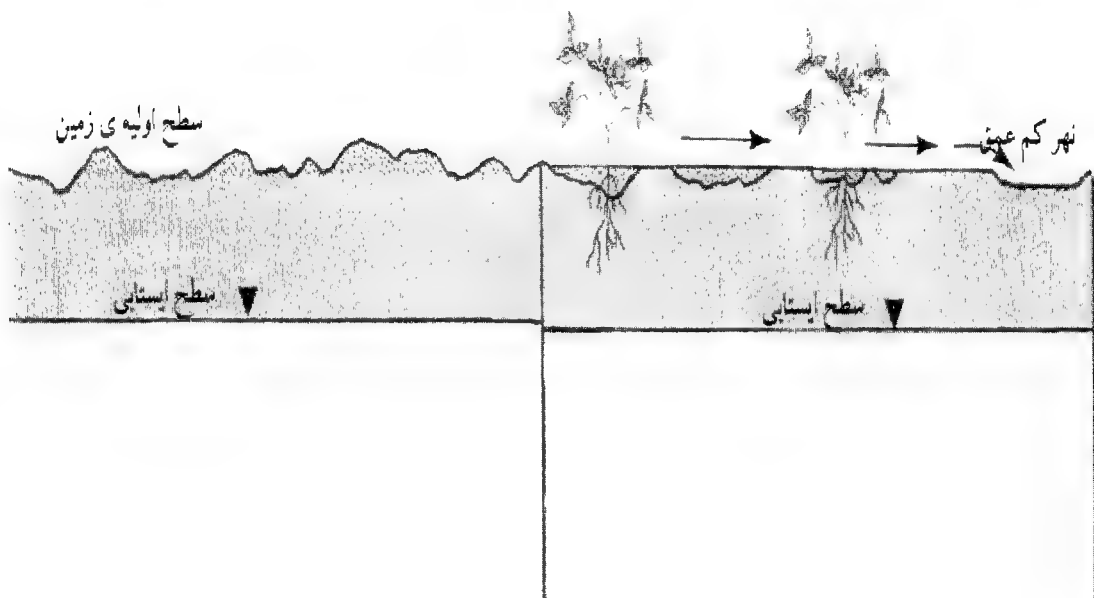
هنگامی که میزان آب ورودی (معمولاً باران و یا آبیاری در سطح خاک به‌طرف پایین به‌طور عمقی نفوذ می‌کند) از میزان حرکت آب زیرزمینی به خارج از منطقه پیشی گیرد سطح ایستابی بالا می‌آید. بنابراین هدف نظام زه‌کشی زیرزمینی عرضه‌ی مجموعه‌ای از منافذ خیلی درشت و یا گذرگاه‌هایی است که به‌طور گسترده‌ای میزان حرکت آب زیرزمینی را افزایش دهد و در نتیجه سبب پایین افتادن سطح ایستابی گردد.

^۱ - Swales

^۲ - Smoothing

طراحی یک نظام زه‌کشی باید با این اصل اساسی سازگار باشد که آب به نقطه‌ای که سطح انرژی آن پایین است حرکت می‌کند، و این بدان معنی است آب وقتی به داخل یک لوله و یا نهر که پتانسیل آن اساساً صفر است حرکت می‌کند که تحت فشار مثبت باشد ($\psi \geq 0$) (به خاطر جمع مثبت پتانسیل ثقلی و غوطه‌وری). بنابراین زه‌کشی داخلی فقط وقتی صورت می‌گیرد که گذرگاه برای زه‌کشی در زیر سطح ایستابی (شکل ۶-۳۰) قرار گرفته باشد. وقتی که کف نهر و یا لوله در منطقه مرطوب اما غیر اشباع قرار گرفته باشد آب برداشت نخواهد شد زیرا جز ماتریک در این خاک دارای پتانسیل منفی است ($\psi < 0$). جریان آب در خاک اشباع به داخل یک خروجی زه‌کشی در شکل ۶-۳۱ تشریح شده است. تابلو ۶-۱ نمونه‌ای ارائه می‌دهد که چگونه اطلاع از خصوصیات اساسی خاک و اصول حرکت آب می‌تواند در طراحی شبکه‌ای که سبب تخفیف مسایل زه‌کشی گردد، به کار گرفته شود.

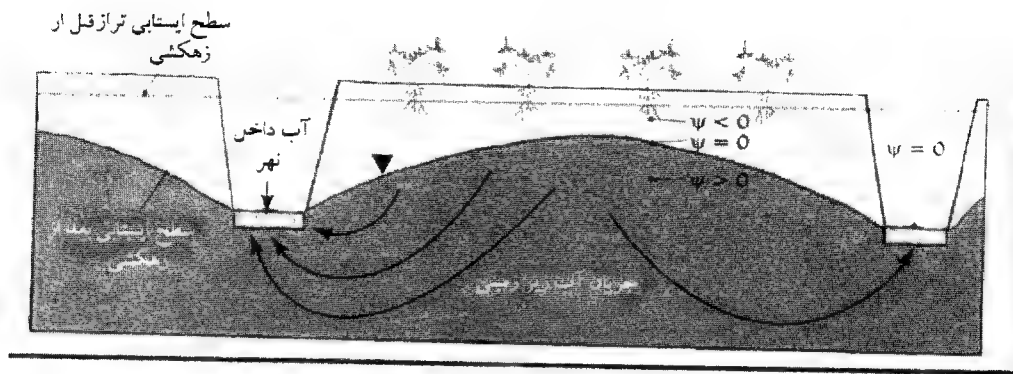
شبکه‌ی آبراهه‌های زه‌کشی در شیوه‌های مختلف بر اساس طبیعت منطقه‌ای که باید زه‌کشی شود، پیاده می‌شوند (شکل ۶-۳۲). چنانچه اراضی بسیار مسطح و یا پست باشند عملیات پرهزینه پمپاژ در بعضی مواقع برای حذف آب زه‌کشی مورد استفاده قرار می‌گیرد (بخش‌هایی از فلوریدا و هلند).



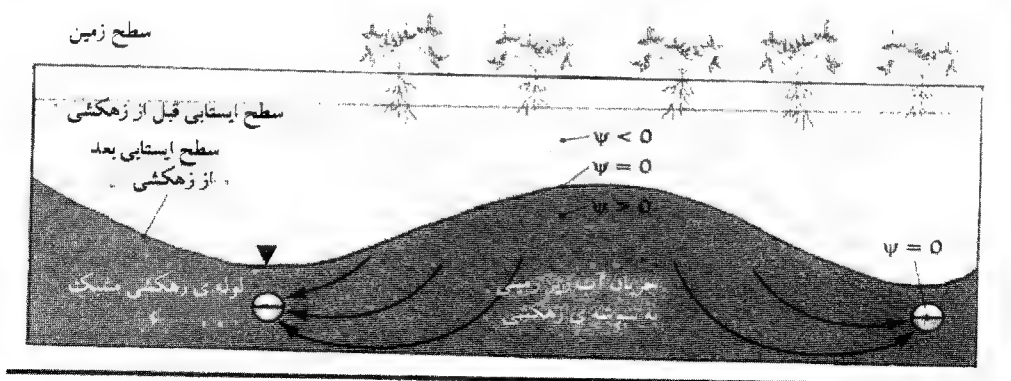
شکل ۶-۲۹ سطح اراضی قبل (سمت چپ) و بعد از طراحی و تسطیح (سمت راست). سطح اولیه خاک اصلی (سمت چپ) غیر یکنواخت بوده و آب در گودی‌ها به صورت مانداب باقی می‌ماند. بعد از تسطیح (سمت راست) دارای شیب یکنواخت بوده و آب از سطح با میزان مشخص جریان دارد تا به وسیله‌ی یک نهر کم عمق خارج گردد. توجه کنید که خاک برجستگی‌ها برای پر کردن گودی‌ها مورد استفاده می‌باشد.

زه‌کش رویاژ: اگر نه‌ری تا عمق پایین‌تر از سطح ایستابی (شکل ۶-۳۰) حفر شود، آب از خاک اشباع تحت فشار مثبت به داخل نهر که پتانسیل آب عملاً در آن صفر است نشت خواهد کرد. در نهر آب دیگر لازم نیست بر نیروهای اصطکاکی که سبب تأخیر مسافرت پریچ و خم آب در منافذ ریز خاک است غلبه کند، بنابراین می‌تواند به سرعت از مزرعه خارج شود. نه‌رهایی که از یک متر و بیشتر عمیق می‌باشند موانعی در مقابل حرکت ادوات کشاورزی ایجاد نموده و معمولاً برای خاک‌های بافت درشت، که در آن‌ها نه‌رها می‌توانند در فاصله زیادی از همدیگر جدا باشند به کار می‌روند^۱. حد فاصل نه‌رها بر مبنای این اصل است که در خاکی با هدایت آبی بالا، حرکت آب در نهر بسیار سریع بوده و بنابراین اثر بر روی پایین آوردن سفره آب تا فاصله قابل ملاحظه‌ای از نهر تداوم خواهد داشت، نه‌رهایی باز نیازمند نگهداری منظم برای مهار پوشش گیاهی و تراکم ته‌نشست (ته‌نشست) می‌باشد.

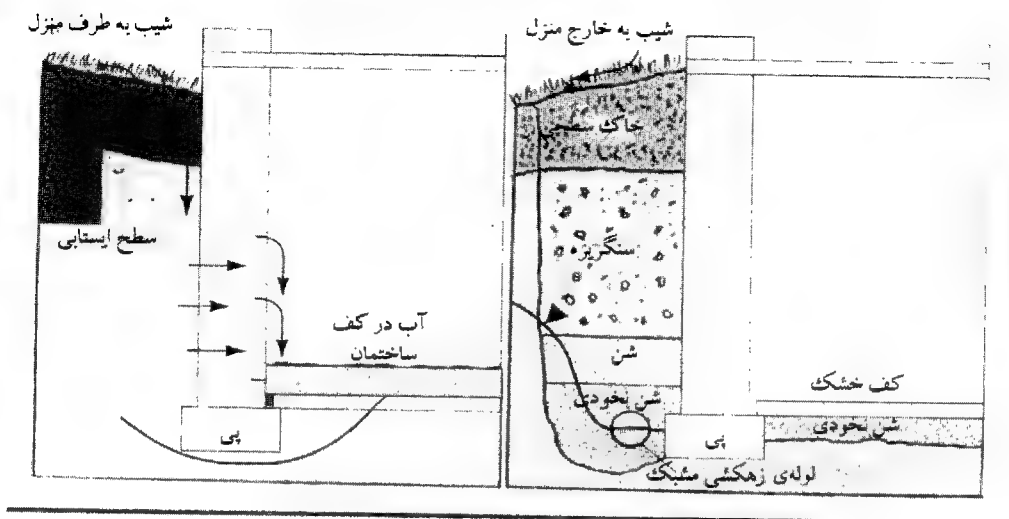
^۱ - فاصله لازم برای لوله‌های زه‌کشی دفن شده و یا نه‌رهایی رویاژ از ده متر در خاک‌های دارای نفوذپذیری کم تا بیشتر از صد متر در خاک‌های خیلی نفوذپذیر مانند پیت و شن متغیر است.



(الف)



(ب)

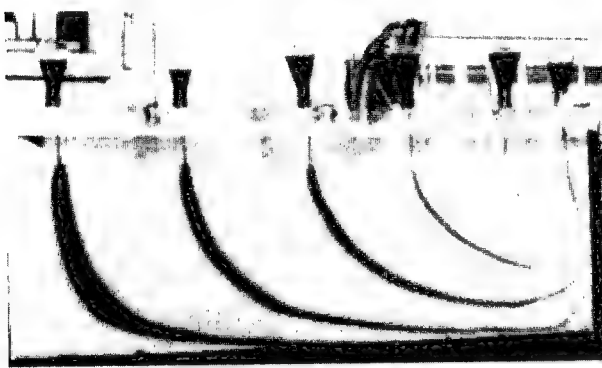


(ج)

شکل ۳۰-۶ سه نوع از شبکه‌های (نظام‌های) زه‌کشی زیرزمینی. (الف) نهرهای روباز برای پایین آوردن سطح ایستابی در یک خاک با زه‌کشی ناقص به کار می‌رود. سطح ایستابی در فصل مرطوب قبل و بعد از نصب زه‌کش نشان داده شده است. سطح ایستابی آب در مجاورت نهر عمیق‌ترین بوده، و اثر زه‌کشی با فاصله گرفتن از نهر کاهش می‌یابد. (ب)- خطوط تپوشه‌ی دفن شده از پلاستیک مشبک بسیار شبیه نهرهای مثال (الف) کار می‌کنند، اما دارای دو مزیت می‌باشند ۱- آنها بعد از نصب قابل مشاهده نیستند ۲- موانعی را برای ادوات سطحی ایجاد نمی‌کنند. به خطوط جریان که عبارتند از مسیرهای آب جاری به نهرهای زه‌کش و یا لوله‌ها در پاسخ به شیب پتانسیل بین آب در حالت استغراق $\psi > 0$ و آب آزاد نهر و یا لوله‌ی زه‌کش $\psi = 0$ توجه کنید (ج) سطح ایستابی در اطراف پی یک ساختمان قبل (چپ) و بعد از (راست) ایجاد زه‌کش پی و اصلاح شیب سطح زمین. اصول حرکت آب در خاک برای خشک نگه داشتن زیرزمین ساختمان قابل کاربرد است.

لوله‌های مشبک دفن شده^۱: (تنبوشه‌های زه‌کشی) شبکه‌ای از لوله‌های پلاستیکی مشبک می‌تواند با استفاده از ادوات خاص در خاک نصب گردد (شکل ۶-۳۴) آب از طریق منافذ وارد لوله می‌شود، قسمت مشبک و یا شیاردار باید در قسمت پایین لوله باشد تا این اجازه را به آب دهد که از داخل لوله به طرف بالا جریان یابد. (همان‌طور که در شکل ۶-۳۱ نشان داده شده). و این از گرفتگی لوله به وسیله ته‌نشست ممانعت می‌کند (شکل ۶-۳۵). از تراکم ته‌نشست می‌توان با ایجاد شیب مناسب در لوله ممانعت کرد (شیب ۰/۵ تا ۱ درصد). بنابراین آب به نهر خروجی و یا رودخانه جریان پیدا خواهد کرد. خروجی لوله باید به وسیله دریچه و یا شبکه‌ای از سیم توری برای جلوگیری از ورود چونندگان در هوای خشک، اما با امکان جریان آزاد آب، باید پوشیده شود. یک نظام زه‌کشی زیرزمینی خوب پیاده شده می‌تواند برای سال‌ها ایفای نقش کند.

زه‌کش پی ساختمان‌ها: آب اضافی در اطراف پی ساختمان و در زیر کف اتاق‌های منازل و سایر ابنیه می‌تواند خسارات جدی ایجاد کند. حذف این آب‌های اضافی با استفاده از لوله‌های مشبک که در کنار، و اندکی در زیر پی ساختمان‌ها و یا زیر کف اتاق‌ها است قابل انجام است (شکل ۶-۳۰ ج). لوله‌های مشبک باید چنان شیئی داشته باشد که به آب امکان دهد به سرعت به یک نهر خروجی و یا فاضلاب وارد شود. اگر زه‌کش به‌طور موفقیت آمیز بتواند از صعود سطح ایستابی به بالای کف اتاق جلوگیری کند آب به زیر ساختمان نشست نخواهد کرد، به همان دلیل که آب در تنبوشه‌ای در بالای سطح ایستابی نصب شده باشد، نفوذ نمی‌کند.



شکل ۶-۳۱ نمایش شیوه‌های جریان اشباع آب به طرف یک تنبوشه زه‌کش. آب حاوی مواد رنگی به سطح خاک اشباع اضافه شد و زه‌کشی از طریق یک تنبوشه زه‌کش شبیه‌سازی شده در متی‌آله سمت راست عکس امکان‌پذیر گردید.

زه‌کشی مول^۲: نظام زه‌کشی مول (لانه موشی) می‌تواند به وسیله کشیدن یک میله نوک تیز در عمق مورد نظر در داخل خاک که به دنبال آن یک توپ فولادی گلوله مانند با قطر ۷-۱۰ سانتی‌متر وصل شده است انجام شود. دیواره متراکم شده مجرای گلوله یک مسیر مشابه به لوله‌ای دفن شده برای عبور آب اضافی ایجاد می‌کند. ایجاد زه‌کشی لانه موشی کاملاً کم هزینه است، اما فقط در خاک‌های بافت ریز، که مسیر برای سال‌ها باقی می‌ماند، مناسب می‌باشد.

۶-۱۰ میدان‌های زه‌کش مخازن فاضلاب^۳

هزاران تن از مردم در حومه‌ی شهرها وقتی یک محل زیبا را برای ایجاد ساختمان‌های ویلایی، انتخاب و برنامه‌هایی برای ساختن یک خانه رویایی طرح و برای کسب مجوز پروانه ساختمان‌سازی از طریق حکومت‌های محلی اقدام می‌کنند به اهمیت حرکت آب از داخل خاک واقف می‌شوند. اگر محل ساختمان از نظام فاضلاب شهری فاصله داشته باشد، تصفیه‌ی فاضلاب خانگی برای جلوگیری از آلودگی محیطی و خطرات برای سلامتی به عهده مالک می‌باشد. مسؤولان محلی معمولاً تا مادامی‌که ترتیباتی برای تصفیه‌ی فاضلاب داده نشود اجازه ایجاد ساختمان را نمی‌دهند. یک خاک‌شناس برای نظارت بر خاک‌ها در محل ایجاد ساختمان حضور پیدا کرده و تناسب آن‌ها را برای میدان زه‌کش مخزن فاضلاب مورد ارزیابی قرار می‌دهد. اگر خاک قادر به ایفای این نقش نبوده و یا در بعضی از خصوصیت که بعداً در این فصل بیان می‌شود دارای نواقصی باشد اجازه‌ی ایجاد ساختمان به مالک داده نخواهد شد.

^۱ - قبل از معمول شدن لوله‌های زه‌کشی مشبک در دهه‌ی ۱۹۶۰ بخش‌های کوتاهی از لوله‌های سرامیک که به عنوان تنبوشه شناخته می‌شدند. در امتداد یکدیگر درحالی که در فاصله بین آن‌ها منافذی برای عبور آب وجود داشت، در خاک نصب می‌شدند. وازهایی مانند تنبوشه زه‌کشی و یا خطوط تنبوشه هنوز در مورد لوله‌های پلاستیکی جدید به کار برده می‌شود.

^۲ - Mole drainage

^۳ - Septic tank drain fields

بنابراین، در بسیاری از مناطق خصوصیات خاک به دلیل نقش آن در تصفیه‌ی فاضلاب در قیمت اراضی و توسعه مناطق مسکونی مؤثر می‌باشد. مشاورت خاک‌شناسان در جوامع صنعتی برای تعیین تناسب خاک برای میداین زه‌کشی مخزن فاضلاب احتمالاً تنها خدمات بسیار معمول قابل ارائه است. به علاوه، در مناطق سریع رشد حومه‌ی شهرها مخازن فاضلاب با جایگذاری نامناسب ممکن است به‌طور قابل توجهی به آلودگی آب زیرزمینی و جویبارها منجر گردد. با توجه به این دلایل، بحث ما در مورد مدیریت عملی آب در نظام خاک بدون در نظر قراردادن نقش خاک، و به‌خصوص حرکت آب از داخل خاک برای اصلاح فاضلاب در مناطقی که نظام متمرکز مدیریت فاضلاب وجود ندارد کامل نخواهد بود.

طرز کارکرد یک سامانه مخزن فاضلاب

معمول‌ترین نحوه‌ی اصلاح فاضلاب محلی برای منازل که در ارتباط با شبکه‌ی فاضلاب شهری نمی‌باشند مخزن فاضلاب و میداین زه‌کشی وابسته به آن می‌باشد (بعضی مواقع به آن میداین زه‌کشی^۱ و یا میداین جذبی^۲ اطلاق می‌شود). بیشتر از ۱۰ میلیون خانه در آمریکا از زه‌کشی مخازن فاضلاب و میداین زه‌کش برای اصلاح فاضلاب و پساب‌ها استفاده می‌کنند. این شیوه‌ی تصفیه‌ی فاضلاب و پساب‌ها وابسته به خصوصیات مختلف خاک بوده که آن‌ها حرکت آب در داخل خاک است.

در اصل یک میداین زه‌کش فاضلاب همانند یک شبکه‌ی زه‌کش مصنوعی، اما برعکس عمل می‌کند. شبکه‌ای از لوله‌های مشبک زیرزمینی در داخل نهرها نصب می‌شوند که بسیار شبیه شبکه لوله‌های زه‌کشی می‌باشند که برای پایین بردن سطح ایستابی در خاک‌های دارای زه‌کشی ضعیف مورد استفاده قرار می‌گیرند، اما به جای زه‌کشی و خارج کردن آب از خاک لوله‌ها در میداین زه‌کشی، فاضلاب را به داخل خاک می‌فرستند. آبی که از طریق شکاف‌ها و یا منافذ لوله‌ها به داخل خاک وارد می‌شود، در میداین زه‌کش فاضلاب با کارایی مناسب، داخل خاک شده، در طبقات پایین نفوذ کرده، و قبل از رسیدن به آب زیرزمینی در چند فرایند پالایش قرار می‌گیرد. یکی از مزایای این روش اصلاح فاضلاب این است که توانایی تغذیه آب زیرزمینی را برای دیگر استفاده‌ها دارا می‌باشد.

مخزن فاضلاب: طراحی اساسی از یک مخزن فاضلاب و میداین زه‌کشی در شکل ۳۶-۶ الف نشان داده شده است. آبی که فضولات را از مستراح‌ها، ظرفشویی‌ها و حمام‌ها با خود حمل می‌کنند به وسیله‌ی نیروی ثقل از طریق لوله‌های عایق کاری شده به یک محفظه‌ی بزرگ بتنی که در شیب پایین دست ساختمان ایجاد می‌شود وارد می‌گردد، این محفظه بزرگ که مخزن فاضلاب (سپتیک) نام دارد دارای یک یا ۲ درپوش قابل برداشت برای بازدید و یک یا چند مانع و مقسم می‌باشد، موانع سبب می‌شوند که سرعت فاضلاب ورودی کاهش یافته و بیشتر بار (۷۰ درصد) مواد جامد معلق خود را ته‌نشست داده که بعداً در کف مخزن فاضلاب ته‌نشین می‌شود، به محض این‌که این مواد جامد آلی تا حدی بر اثر فعالیت میکربی در مخزن فاضلاب مورد تجزیه قرار گرفت، حجم آن‌ها چنان کاهش می‌یابد که معمولاً سال‌ها طول می‌کشد تا مخزن فاضلاب پر شده و لجن متراکم شده (که سپتاژ^۳ نامیده می‌شود) به بیرون تخلیه شود.

تابلو ۱-۶ موفقیت و یا شکست در طراحی زه‌کش زمین‌نما

چپری از درختان شوکران که همگی بادقت هرس شده و به صورت بخشی از طراحی پیچیده زمین‌نما به شکل زیتنی در آمده، به دلیل زه‌کشی ضعیف مجدداً در حال از بین رفتن بود و ثابت شد که تلاش پرهزینه‌ای که برای بهبود زه‌کشی در زیر درختان شوکران به عمل آمده بود، به شکست انجامید و درختان شوکران بازکاری شده مجدداً سبب ایجاد یک تصویر زشت به جای یک باغ عالی گردیدند.

معمار چشم‌انداز که در باغ‌های زیتنی شهرت جهانی دارد نهایتاً یک متخصص خاک را به همکاری طلبید تا راه‌حلی برای مرگ و میر درختان شوکران پیدا کند. مدارک نشان داد که در گذشته تلاش‌ها برای اصلاح مسأله زه‌کش با شکست مواجه بوده است. پیمانکاران تمام درختان شوکران را در چپری از بین برده و نهری در زیر چپری به عمق حدود ۳ متر ایجاد کرده بودند (شکل الف). آن‌ها سپس نهر را با شن نخودی تا حدود یک متری سطح خاک، و عمق باقی‌مانده را با خاک لوم سیلنتی حاوی ماده‌ی آلی زیاد پر کردند. در داخل این لوم سیلنتی درختان جدید شوکران کشت شدند در آخر خاک‌پوش پوست درخت به سطح زمین اضافه گردید. متخصص چشم‌انداز که شبکه‌ی زه‌کش

¹ -Filterfield

² -Septic Tank Drain Fields

³ - Septage

را طرح و پیاده کرده بود ظاهراً دانش اندکی در مورد افق‌های خاک و ارتباط آن با آب‌شناسی محلی داشت. وقتی متخصص خاک‌شناس منطقه، مسأله را مورد آزمایش قرار داد یک لایه نفوذ ناپذیر^۱ رسی را پیدا کرد که موجب حرکت آب از منطقه بالا دست شیب به‌طور جانبی به منطقه ریشه درختان شوکران شده بود.

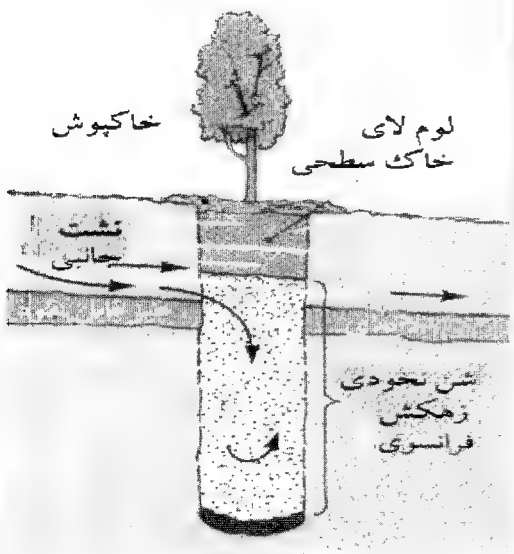
اصول اساسی حرکت آب خاک به او خاطر نشان کرد که آب از منافذ خاک لوم سیلتی فوقانی به داخل منافذ شن نخودی حرکت نخواهد کرد، و بنابراین شن نخودی داخل نهر برای زه‌کشی خاک سطحی لوم سیلتی مناسب نبود (با موقعیت شکل ۲۷-۵ مقایسه کنید). درواقع آب که به‌طور جانبی بروی طبقه غیرقابل نفوذ حرکت می‌کرد سبب ایجاد یک سفره آب آویزان و ریختن آب به نهر پر شده با شن نخودی گشته و سبب اشباع شن نخودی و خاک سطحی لوم سیلتی گردیده بود.

برای رفع مشکل، راه حل قبلی نمی‌بایست تکرار شود (شکل ب). درختان شوکران مرده برداشته شد و نهرها مجدداً حفر و سنگ‌ریزه از نهر برداشته شد، سپس نهر به‌وسیله‌ی خاک تحت‌الارضی لوم شنی تا نیم متر مانده به سطح خاک پر گردید تا منطقه مناسب انتشار ریشه را برای درختان همیشه سبز جایگزین شده فراهم کند (گونه دیگری به دلایلی که مربوط به زه‌کشی نبود انتخاب شد). نیم متر فوقانی نهر به‌وسیله‌ی خاک لوم شنی که آن‌هم اسیدی، اما دارای ماده‌ی آلی بالاتری بود پر گردید. مرز بین خاک تحت‌الارضی و خاک سطحی چنان مخلوط گردید که تفاوت خیلی باری بین طرز قرار گرفتن منافذ به‌وجود نیامد. این امکان حرکت یک جبهه مرطوب غیراشباع را به‌طرف پایین از لایه‌های فوقانی فراهم می‌کرد و سبب پایین کشیدن آب اضافی می‌گردید.

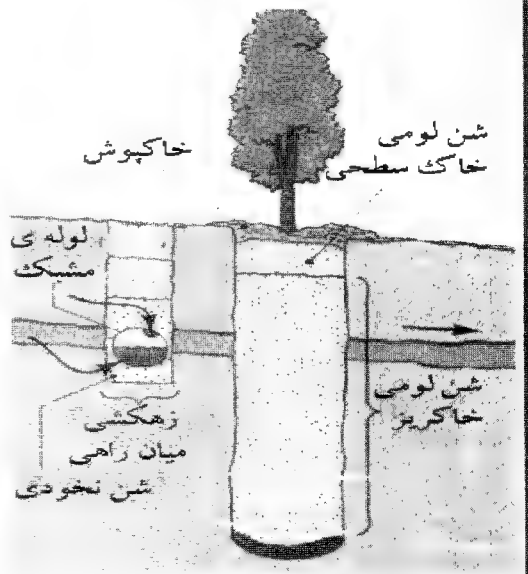
حدود یک متر در طرف بالادست نهر یک زه‌کش میان راهی نصب گردید^۲ (ب). این زه‌کش شامل حفر یک جویچه کوچک در داخل لایه رس غیرقابل نفوذ بود که سبب هدایت آب به منطقه گردیده بود. یک لوله زه‌کشی مشبک که به‌وسیله‌ی یک لایه شن نخودی در بر گرفته شده بود، در کف جویچه با شیب ۱ درصد برای دور کردن آب از منطقه و هدایت آن به یک خروجی نصب گردید. زه‌کش میان راهی از حرکت جانبی آب بر روی لایه غیرقابل نفوذ خاک و رسیدن به منطقه ریشه درختان همیشه سبز ممانعت کرد.

گرچه بازکاری درختان چپر شوکران یک‌سال استثنایی پرباران را به‌دنبال داشت نظام جدید زه‌کشی سبب ایجاد تهویه مناسب در خاک گردید و درختان زنده ماندند. اصول حرکت آب، که در بخش‌های ۶-۵ و ۹-۶ این کتاب تشریح گردید در این مرزعه با موفقیت به‌کار گرفته شدند.

(الف) نظام زه‌کشی ناموفق

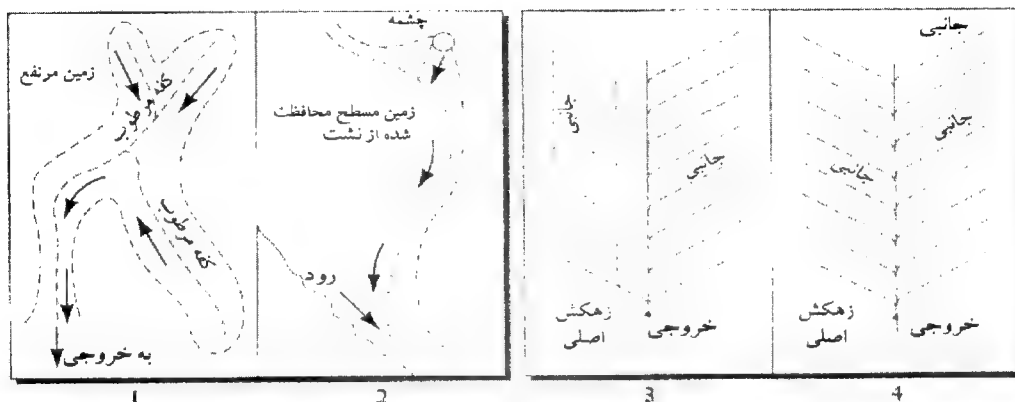


(ب) نظام زه‌کشی موفق



^۱ - Clay Pan

^۲ - Interception drain



شکل ۳۲-۶ شبکه‌ی زه‌کشی تنبوشه‌ای (بالای عکس). چهار شبکه‌ی شاخص برای پیاده‌کردن زه‌کش تنبوشه‌ای ۱- طبیعی^۱ که صرفاً شیوه‌ی زه‌کشی طبیعی را دنبال می‌کند ۲- زه‌کش میان راهی^۲ که مسیر نشت آب را از اراضی فوقانی به اراضی پایین دست قطع می‌کند ۳- نرده‌ی آهن^۳، ۴- شبکه‌ی (جناغی) استخوان ماهی^۴ که به‌طور یکنواخت کل منطقه را زه‌کش می‌کند. (زیر) یک شبکه‌ی زه‌کش تازه ایجاد شده خطوط تنبوشه، زه‌کش اصلی را در زیر تغذیه می‌کنند. مسیر جریان با پیکان‌هایی نشان داده شده است

میدان زه‌کشی: آبی که به‌وسیله‌ی یک لوله در نزدیک بالای مخزن سپتیک (مخزن فاضلاب) خارج می‌شود فاضلاب^۵ نامیده می‌شود. هرچند بار مواد معلق آن بسیار کاهش یافته است اما هنوز دارای ذرات آلی و مواد شیمیایی محلول (از جمله ازت) و ریز جانداران (از جمله عوامل بیماری‌زا) می‌باشد. فاضلاب مخزن بر اثر نیروی ثقل به جمع‌بندی بتنی بسیار کوچک‌تر که به آن جمع‌بندی توزیع گفته می‌شود جریان می‌یابد، جریان از آن‌جا به یک و یا چند لوله‌ی زیرزمینی که شامل میدان زه‌کشی است، هدایت می‌شود. این لوله‌ها دارای پوشش سنگ‌ریزه بوده و در نهرهایی با عمق حدود ۶/۰ تا ۱ متر در زیر سطح خاک دفن شده‌اند. این لوله‌ها در کف خود مشبک بوده و امکان می‌دهد که فاضلاب از آن خارج شده و به داخل خاک وارد گردد.

¹ - natural
² - Interception
³ - Gridiron
⁴ - Fishbone
⁵ - Effluent

خصوصیات خاک در این جا یک نقش حیاتی ایفا می کنند شبکه های فاضلاب در میدان زه کش به دلایل زیر وابسته به خاک می باشند:

- ۱- پنهان نمودن فاضلاب از دید و خارج از تماس با مردم
- ۲- اصلاح یا تصفیه فاضلاب
- ۳- هدایت فاضلاب تصفیه شده به آب زیرزمینی.



شکل ۳۳-۶ یک شبکه ی زه کش با نهر روباز که برای پایین آوردن سطح ایستابی در فصول مرطوب ایجاد شده است جریان آب در نهر به دلیل نشت آب از خاک اشباع مجاور می باشد. این نهرها سبب تسریع در خارج ساختن رواناب سطحی می شوند. حاشیه مویینی در بالای سفره ی آب می تواند به صورت یک نوار سیاه خاک دیده شود. برای حفظ کیفیت آب از آلودگی مواد شیمیایی ته نشست هایی که ممکن است از طریق رواناب به نهر برسد، نوارهای پشتیبان گیاهان چمنی و یا پوشش جنگلی باید در دو طرف نهر استقرار یابند در عقب عکس به تل انبارهای خاک زاید تحت الارضی که برای ایجاد نهر حفاری شده اند توجه کنید این مواد در لایه های نازکی پخش شده و با خاک سطحی به وسیله ی عملیات خاک کوزری در مزرعه مخلوط می شوند، اما اول از نظر اسیدیته شدید و یا سایر خصوصیات زیان آور، که ممکن است سبب ایجاد خساراتی در کیفیت خاک سطحی گردد باید آزمایش شود.



شکل ۳۴-۶ تجهیزات اختصاصی هدایت شده به وسیله ی لیزر که خطوط زه کشی را که از لوله های پلاستیکی مشبک می باشد جایگذاری می کنند. لوله ها در طرف زیرین خود مشبک بوده تا امکان دهند آب از خاک اشباع به داخل آن ها نشت کند. نهر به وسیله ی خاکی که در سمت چپ انبار شده است پر می شود. خطوط زه کش باید عمیق تر از سطح ایستابی فصلی باشند.

ویژگی‌های مؤثر خاک در تناسب اراضی برای میدان زه‌کش سپتیک

خاک باید دارای چنان هدایت آبی اشباع باشد که اجازه دهد فاضلاب وارد خاکرخ شده و از آن به سرعت کافی برای جلوگیری از اشباع خاک سطحی به وسیله فاضلاب عبور کند، اما سرعت نیز باید چنان کند باشد که اجازه دهد خاک سبب پالایش مایع فاضلاب قبل از رسیدن آن به آب زیرزمینی گردد. خاک باید به اندازه‌ی کافی دارای تهویه خوب باشد که سبب تجزیه مواد زائد و تخریب عوامل بیماری‌زا گردیده، و دارای منافذ ریز و رس یا ماده‌ی آلی برای جذب و تصفیه آلاینده‌ها از پساب‌ها باشد.

خصوصیات قابل ملاحظه در خاکرخ، که بیانگر حضور سطح ایستابی بالا در بعضی مواقع سال می‌باشد مانند رنگین دانه‌ها^۱ و رنگ‌های خاکستری احیایی^۲، ممکن است استفاده از یک منطقه را به عنوان میدان زه‌کش سپتیک بی‌ارزش کند. لایه‌های غیرقابل نفوذ مانند دج‌ها و یا لایه نفوذ ناپذیر رسی می‌تواند محل را برای ایجاد سازه متفی سازد گرچه بعضی مواقع می‌توان با محدودیت‌های حاصل از لایه‌های غیرقابل نفوذ با قراردادن لوله‌ی میدان زه‌کش در زیر لایه‌ی محدودکننده مقابله نمود، البته هنگامی که فاصله‌ی قابل توجهی بین میدان زه‌کش با سطح ایستابی محلی موجود باشد این راه حل امکان‌پذیر خواهد بود.

آلودگی شدید آب زیرزمینی و به خطر افتادن تندرستی بر اثر پساب تصفیه نشده از پی‌آمدهای احداث میادین زه‌کش فاضلاب در زمین‌هایی است که از ویژگی‌های مناسب برخوردار نباشند. عکس در شکل ۳۶-۶ ب نتیجه نصب میدان زه‌کشی پساب را در مزرعه‌ای با خاک‌های نامناسب نشان می‌دهد. خطوط سیاه در چمن نشان می‌دهند که چگونه چمن به آب و ازت پساب عکس العمل نشان داده است. این علائم مشخص می‌سازد که خاک یا دارای فرونشست آرام بوده، و یا سطح سطح ایستابی بالاست، و پساب به جای این که به پایین برود، در طبقات فوقانی حرکت کرده است.

درجه‌بندی تناسب اراضی: تناسب منطقه‌ای برای نصب میدان زه‌کشی پساب به‌طور عمده وابسته به خصوصیات مؤثر خاک در حرکت آب و سهولت نصب (جدول ۷-۶) می‌باشد. برای مثال، شیب بسیار تند می‌تواند هم در سهولت نصب و هم در طرز عمل میدان زه‌کش پساب دخالت کند. میدان زه‌کش پساب نصب شده در شیب‌های زیادتر از ۱۵ درصد ممکن است امکان حرکت جانبی قابل توجهی را برای آب‌های نفوذی فراهم کند به‌طوری‌که در بعضی نقاط در پایین شیب پساب به سطح نشست کرده و عاملی برای به خطر انداختن سلامتی خواهد بود.

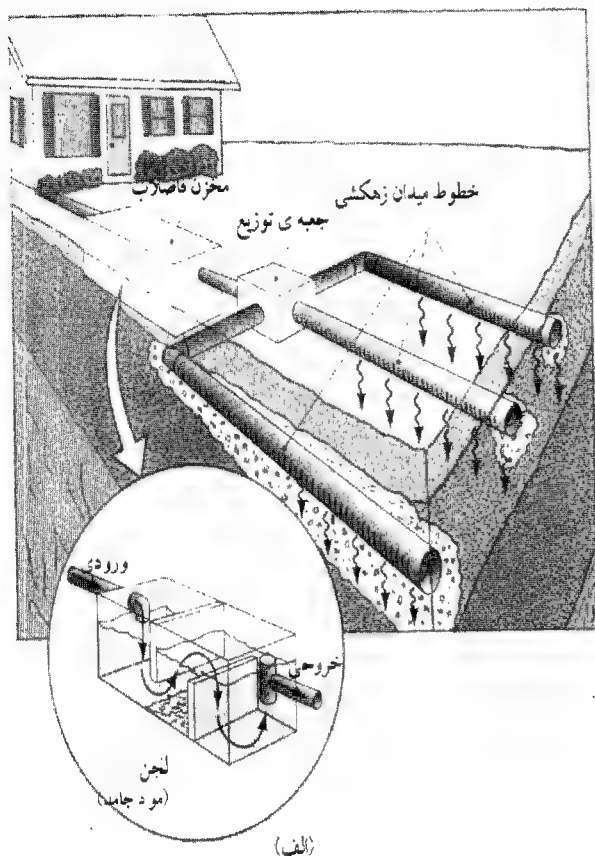


شکل ۳۵-۶ یک لوله‌ی مشبک زه‌کش پلاستیکی و یا خط لوله که در اثر ته‌نشست مسدود شده است. ته‌نشست به‌خاطر نصب نامناسب وارد شده است. قسمت مشبک به‌جای در پایین قرارگرفتن در بالای لوله بوده است.

^۱-Mottled soil

^۲- Gley color

ویژگی‌های بهینه برای میدان زه‌کشی پساب تقریباً مخالف خصوصیتی است که برای نصب زه‌کشی تبتوشه‌ای لازم می‌باشد برای نمونه. به جای یک سطح ایستایی بالا که لازم است با زه‌کش پایین آورده شود. میدان زه‌کش پساب باید دارای سطح ایستایی پایین باشد تا مقدار قابل توجهی خاک را با تهویه مناسب برای تصفیه پساب قبل از رسیدن آن به آب زیرزمینی فراهم آورد. وارد کردن مقادیر زیاد پساب به داخل میدان زه‌کش پساب در واقع تا حدی سبب بالا آمدن آب زیرزمینی در زیر میدان زه‌کش خواهد شد.



(ب)

شکل ۳۶-۶ (الف) یک میدان زه‌کش یا مخزن فاضلاب که از نظام استاندارد اصلاح فاضلاب در محل اصلی تشکیل شده است اکثر مواد جامد معلق در فاضلاب خانگی در مخزن بتنی فاضلاب ته‌نشین می‌شود. فاضلاب مخزن به میدان زه‌کشی جریان می‌یابد و در آن جا از لوله‌های مشبک به داخل خاک نشت می‌کند. فاضلاب به وسیله‌ی فرایندهای میکروبی، شیمیایی و فیزیکی هنگامی که به طرف آب زیرزمینی حرکت می‌کند، تصفیه می‌شود. (ب) عکس حکایت از نوارهای تیره چمن دارد که در اثر ضعیف عمل کردن خطوط لوله مخزن فاضلاب سبب تقویت چمن در اثر ازت فاضلاب گردیده است.

آزمون فرونشست^۱: یکی از مهم‌ترین آزمون‌ها که برای تعیین تناسب یک خاک برای نصب مخزن پساب اجرا می‌شود. آزمون میزان فرونشست (که در ارتباط با هدایت آبی اشباع است) را بر حسب واحد آب داخل شده بر حسب میلی‌متر (و یا واحد عمق) در ساعت تعیین می‌کند و مشخص می‌سازد که خاک می‌تواند پساب را با سرعت کافی به عنوان یک محیط دفع فاضلاب دریافت کند و یا خیر (جدول ۷-۶). انجام آزمایش آسان بوده (شکل ۳۷-۶) و باید در طول مرطوب‌ترین ایام سال انجام گیرد.

فرونشست کم تا حدی می‌تواند با افزایش طول کل لوله‌های میادین زه‌کش جبران گردد، بنابراین مساحت کل اراضی که به میدان زه‌کش اختصاص می‌یابد افزایش می‌یابد، با افزایش طول کل لوله‌ها حجم مشخصی از پساب در حجم بزرگ‌تری از خاک توزیع می‌گردد. معمولاً اندازه‌ی میدان زه‌کش به وسیله‌ی مقدار پسابی که احتمالاً وجود خواهد داشت تعیین می‌شود. در بسیاری از مقررات قانونی، اندازه میدان زه‌کش برپایه‌ی تعداد اطاق‌های خواب موجود در منطقه‌ی مسکونی تعیین می‌شود.

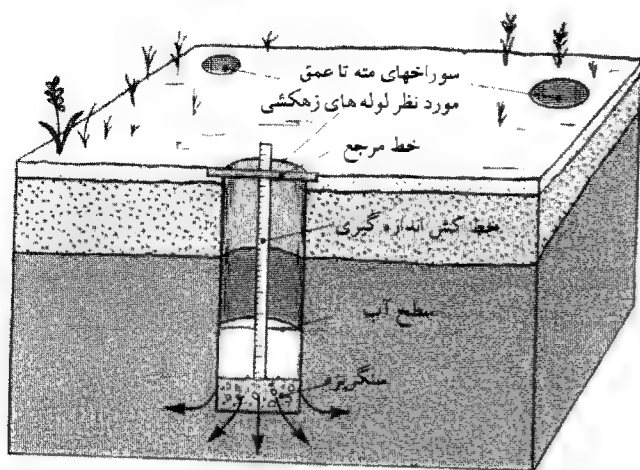
^۱ Percolation test (perc test)

جدول ۶-۷ خصوصیات مؤثر خاک در تناسب میدان زه‌کشی مخزن پساب توجه کنید اکثر این خصوصیات خاک مربوط به حرکت آب در داخل خاکریز است.

محدودیت			خصوصیات خاک (الف)
شدید	متوسط	کم	
سیلاب‌ها متعدد تا گاه بگاه	-	-	سیلگیری
< ۱۰۲	$۱۰۲-۱۸۳$	> ۱۸۳	عمق تا سنگ بستر و یا سخت لایه غیر قابل نفوذ (سانتی متر)
بلی	نه	نه	ماندایی بودن
< ۱۲۲	$۱۲۲-۱۸۳$	> ۱۸۳ عمق	عمق تا بالاترین سفره آب داخلی (سانتی متر)
< ۱۵۰ یا > ۱۵۰ (ب)	$۱۵-۵۰$	$۵۰-۱۵۰$	نفوذپذیری (آزمایش فرونشست) در عمق ۶۰ تا ۱۵۲ سانتی متری خاک میلی متر در ساعت
> ۱۵	$۸-۱۵$	< ۸	درصد شیب اراضی
> ۵۰	$۲۵-۵۰$	< ۲۵	درصد سنگ‌های درشت تر از ۷/۵ سانتی متر (درصد خاک خشک بر حسب وزنی)

الف: با این فرض که خاک شامل یخ بندان دایمی نبوده و بیشتر از ۶۰ سانتی متر نشست نداشته باشد

ب: نفوذپذیری خاک (اندازه‌گیری شده به وسیله‌ی آزمون فرونشست) بیشتر از ۱۵۰ میلی متر در ساعت خیلی سریع بوده و امکان تصفیه بسنده و صاف کردن وجود ندارد



شکل ۳۷-۶ آزمون فرونشست که برای تعیین تناسب خاک برای میدان زه‌کشی پساب به کار می‌رود. در منطقه‌ای که برای ایجاد میدان زه‌کشی پیشنهاد شده است، تعدادی چاله تا عمقی که لوله‌های مشبک قرار است نصب شوند حفر می‌گردند، کف هر کدام از چاله‌ها به وسیله‌ی چند سانتی متر سنگریزه پوشش داده می‌شود و حفره‌ها از آب. به عنوان پیش آزمایش برای اطمینان از مرطوب بودن خاک، در هنگام اجرای آزمایش، پر می‌شوند. بعد از زه‌کشی آب، حفره‌ها مجدداً از آب پر شده و یک میله اندازه‌گیری برای تعیین سرعت پایین رفتن آب در طول چند ساعت و یا یک روز نصب می‌شود.

نظام‌های جایگزین

در بعضی از مناطق پست، پیداکردن مناطقی با سطح ایستابی به اندازه کافی عمیق برای نصب میدان زه‌کش پساب براساس معیارهای تعیین شده عملاً غیر ممکن است. در این موارد جایگزین‌هایی برای میداین زه‌کش زیرزمینی باید پیدا کرد.

یکی از این جایگزین‌ها نظام میدان زه‌کش تپه‌ای است (شکل ۳۸-۶) لوله‌های مشبک میدان زه‌کش در روی زمین بر روی بستری از شن نصب شده و به وسیله‌ی تپه‌ای از مواد شنی پوشیده می‌شوند. برای پوشش نهایی از خاک‌های لومی برای ایجاد گیاهان چمنی استفاده می‌شود. این نوع نظام باید برای توزیع آب فاضلاب تا رسیدن به لوله‌های مشبک از پمپ‌ها استفاده کند. پوشش گیاهی استقرار یافته بر روی تپه مقداری از آب را برای تبخیر و تعرق مورد استفاده قرار می‌دهد، اما اکثر پساب در داخل مواد تپه نفوذپذیر به طبقات پایین نشت می‌کند.

معدودی از جوامع در حال آزمون ایجاد اراضی ماندایی مصنوعی برای بهبود فاضلاب مخزن پساب در جاهایی هستند که خاک برای میدان زه کش برپایه‌ی معیارهای تعیین شده بسیار غیرقابل نفوذ و یا پایین (پست) می باشد. جریان مایع فاضلاب به آهستگی از داخل مجموعه‌ای از استخرهای کم عمق با پوشش گیاهی تنظیم می گردد تا در آن بعضی مواد جامد پساب بر اثر تصفیه‌ی فیزیکی، و یا با برداشت و تجزیه‌ی عناصر غذایی و ترکیبات آلی به وسیله‌ی جذب گیاهان و واکنش‌های زیست شیمی پالایش گردند.

چنین گزینه‌هایی برای میدان‌های زه کش نیازمند پروانه خاص بوده و در تمام مناطق مجاز نمی باشند. روش غیرمعمول اما سازگارتر با محیط زیست کمپوست کردن فضولات مستراح‌ها است که فضولات انسانی به جای این که با آب وارد شبکه فاضلاب گردد به ماده هموس مانند اصلاح کننده خاک تبدیل می شود.



شکل ۶-۳۸ نظام میدان زه کش تپه‌ای مخزن پساب تصفیه‌ی فاضلاب که برای یک منزل تازه ساخت در یک منطقه مسطح با زه کشی ضعیف نصب شده است. به هواکش در بالای تپه و مانداب حاصل از بارندگی در جلو عکس توجه کنید.

۱۱-۶ اصول و عملیات آبیاری

در بسیاری از مناطق جهان ناپسندگی آب اولین عامل محدودکننده‌ی توان تولیدات کشاورزی است در مناطق خشک و نیمه خشک، به طور کلی زراعت پرنهاده بدون آبیاری تکمیلی و تنها با آب باران محدود حاصل از طبیعت غیرممکن است. هرچند در صورت تامین آب به وسیله‌ی آبیاری بابودن آسمان آفتابی و خاک‌های حاصلخیز، تولید و عملکرد در بعضی از مناطق خشک، بسیار بالا خواهد بود. بنابراین جای تعجب نیست که بسیاری از تمدن‌های اولیه و کلان شهرها وابسته به زراعت آبی بوده‌اند (و بالعکس). تاریخ آبیاری تقریباً به قدمت خود کشاورزی است. تولید برنج در آسیا، گندم و جو در خاورمیانه و ذرت در آمریکای مرکزی و جنوبی با آبیاری کردن مناسب این زراعت‌ها طی ۲۰۰۰ سال گذشته انجام گرفته است.

وسایل هدایت آب به کشت‌ها و روش آبیاری طی زمان و در مناطق تغییر کرده است. تمدن‌های باستانی بین‌النهرین در دره‌ی رودخانه‌های دجله و فرات سبب ایجاد شبکه پیچیده‌ای از نهرها و جوی‌ها برای انتقال آب از رودخانه‌های بزرگ به اراضی گسترده زراعی گردیدند. بعضی از ساکنین بیابان‌ها از یک نظام جمع‌آوری آب با هدایت رواناب حاصل از رگبارهای شدید از اراضی وسیع بایر شیب‌دار به اراضی کوچک مسطح با خاک‌های عمیق در کف دره‌ها، که آب کافی را بتوان برای رشد یک محصول در خاک‌رخ آن‌ها ذخیره کرد بهره می بردند. در سایر مناطق زارعین دلوهای معمول را از آب رودخانه‌ها و یا چاه‌های دهن گشاد پر کرده و آن‌ها را برای استفاده گیاهان تشنه باغ‌های خود حمل می کردند. امروزه این روش‌های انتقال آب را هنوز می توان مشاهده نمود، گر چه در بسیاری از نظام‌های کشاورزی و چشم اندازها این روش‌ها به وسیله‌ی روش‌های نوین پمپاژ و لوله گذاری جایگزین شده‌اند.

اهمیت آبیاری در حال حاضر

فضای سبز: آبیاری یکی از اجزای فضای سبز در بسیاری از مناطق مسکونی و مؤسسات مانند میدان‌های بازی گلف، چمن منازل و گلکاری‌ها می‌باشد (عکس شکل ۵-۶ را مشاهده کنید). آبیاری سبب سبز ماندن چمن‌ها در طول ایام خشک تابستانی در مناطق مرطوب می‌باشد اما تقریباً در تمام طول سال برای نگهداری گونه‌های پررشد در مناطق خشک‌تر لازم می‌باشد. در مناطق خشک^۱، آبیاری می‌تواند چشم‌اندازهای قهوه‌ای دل‌آزار را به درختان سایه‌انداز خنک و گل‌های الوان تبدیل کند. در بسیاری از موارد استفاده از آبیاری برای چشم‌اندازها بر اساس اشتیاق به حفظ پوشش گیاهی همراه با یک تصور دل‌انگیز از شادابی سبز دایمی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. برای مثال، گونه‌های چمن گلف مانند چمن آبی کنتاکی (Kentucky bluegrass)، که به‌طور طبیعی در چند ماه مرطوب سرد در ایالت کنتاکی سبز می‌باشد در بعضی باغچه‌های مناطق خشک در تمام طول سال سبز نگه داشته می‌شود.

در مقابل در بسیاری از مناطق جهان چمن‌ها، چشم‌اندازها و میدان‌های گلف از گیاهان سازگار، که با دوره‌های هوای خشک و سایر شرایط نامناسب که خاصی اقلیم بومی بدون آبیاری (هر چند نه الزاماً در یک وضعیت سبز شاداب) است بهره می‌برند. در ایالات متحده آمریکا آبیاری چشم‌اندازها سریع‌تر از رشد جمعیت پیشرفت داشته است. هرچند بالارفتن آگاهی زیست‌محیطی سبب خلق شیوه‌های کوچک اما روبه‌پیشرفت در مورد چشم‌اندازهای خشکی‌پسند (استفاده از گیاهان کویری و صخره‌ها) در مناطق خشک، و به‌طور کلی استفاده بیشتر از گیاهان بومی شده است که نیاز کمتری به آبیاری داشته و یا اصلاً نیازی ندارند.

تولید مواد غذایی: طی قرن بیستم اراضی تحت زراعت‌های آبی در بسیاری از مناطق جهان، از جمله ۱۷ ایالت نیمه‌خشک غرب آمریکا، به مقدار زیادی گسترش یافته است. کل اراضی تحت آبیاری در مقیاس جهانی به حدود ۲۵۰ میلیون هکتار رسیده است که حدود ۱۶ درصد اراضی تحت کشاورزی جهان را شامل می‌شود. توان تولید بالا که ناشی از انجام آبیاری است، از این واقعیت ناشی می‌شوند که اراضی آبی ۴۰ درصد تولید محصولات جهان را به‌عهده دارند.

توسعه و بهبود آبیاری، به‌خصوص در آسیا، عامل مهمی در تامین محصولات غذایی به موازات رشد جمعیت و حتی بیشتر از آن شده است. در نتیجه زراعت آبی به‌عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده منابع آب در جهان باقی مانده و حدود ۸۰ درصد کل آب مورد مصرف را در مقیاس جهانی، و در ایالات متحده آمریکا شامل می‌شود (شکل ۳۹-۶).

چشم‌انداز آینده: آب لازم برای توسعه آبیاری عمدتاً از منابع ذخیره آب حاصل از ایجاد سدها و یا پمپاژ آب از آب‌خوان‌های عمیق بدست می‌آید. در میان مسایلی که زراعت آبی در آینده با آن مواجه است، به تحلیل‌رشتن تدریجی قابلیت استفاده آب آبیاری از این دو منبع است. دلایل کاهش عبارتند از: ۱- بالارفتن رقابت برای آب به‌وسیله جمعیت رو به افزایش مصرف‌کنندگان شهری ۲- پمپاژ بی‌رویه از آب‌خوان، که سبب پایین‌افتادن سفره آب شده است ۳- کاهش ظرفیت منابع ذخیره آب به‌وسیله تهنشست‌های حاصل از فرسایش (بخش ۲-۱۷ را مشاهده کنید) ۴- بالا رفتن درک این نیاز که بخشی از رودخانه بدون هر نوع استفاده برای آبیاری، به‌خاطر بقای زیست‌گاه ماهیان پایین‌دست، باید جریان داشته باشد.

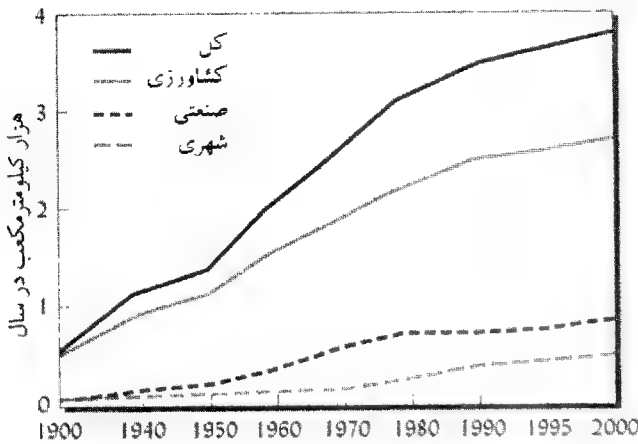
منابع آبیاری در مناطق خشک، که بیشترین نیاز را دارند با سرعت هرچه‌تمام‌تر در حال کمیاب‌شدن و یا گران‌شدن است. کاهش هدررفت و بالابردن بازدهی استفاده از آب در آبیاری جنبه‌های بسیار مهمی هستند که در این بخش به آن توجه خواهد شد. یکی دیگر از مسایل عمده، که با آبیاری همراه است، شورشیدن خاک‌ها و زه‌کشی آن‌ها می‌باشد که در فصل ۱۰ مورد توجه قرار خواهد گرفت.

بازدهی استفاده از آب

روش‌های مختلف تعیین بازدهی استفاده از آب برای مقایسه منافع نسبی روش‌ها و نظام‌های مختلف آبیاری مورد استفاده قرار می‌گیرد. یک روش کلی بسیار پرمعنی، بازدهی ستانده‌های نظام (زیتوده نبات و یا ارزش محصول قابل‌فروش) را با مقدار آب اختصاص یافته

^۱ - تفاوتی بین مصرف با بازگشت (Withdrawal) و مصرف بدون بازگشت (Consumptive use) وجود دارد. واژه دوم مربوط به استخراج آب از منابع سطحی و یا زیرزمینی بوده و چنان مصرف می‌شود که مستقیماً سبب برگشت آب به آن منابع برای مصرف نمی‌گردد. بنابراین آب استخراج شده برای آبیاری که به‌وسیله تبخیر و ترق به نیوار بازگشته است یک مصرف بی‌بازگشت است اما آب استخراج شده برای خنک‌کردن یک توربین مولد الکتریسته که مجدداً به رودخانه‌ای بازمی‌گردد که از آنجا آمده است یک مصرف با بازگشت است. به‌طور متوسط، ۳۰ تا ۳۵ درصد آب استخراج شده برای آبیاری به منابع آب برای مصرف مجدد باز می‌گردد و مصرف بی‌بازگشت نمی‌باشد. درحالی‌که ۹۰ درصد آب خارج شده برای مصارف صنعتی به رودخانه برگشته و بنابراین به‌عنوان مصرف بی‌بازگشت در نظر گرفته نمی‌شود.

به عنوان نهاده‌های نظام باهم مقایسه می‌کند. عوامل بسیار زیادی را باید مورد ملاحظه قرار داد (مانند نوع نبات کاشته شده، استفاده مجدد از آب هدر شده به وسیله پایین دست‌ها و غیره)؛ بنابراین، چنین مقایسه‌هایی باید با احتیاط انجام گیرد.

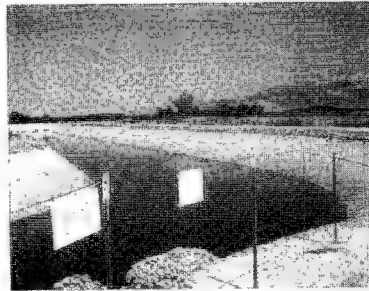
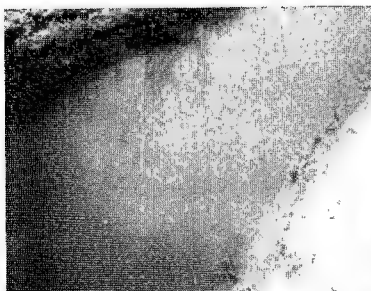


شکل ۳۹-۶ شیوه‌های مصرف جهانی استفاده از آب به وسیله مجموعه‌ای از بهره‌برداران، توجه کنند که کشاورزی (عمدتاً آبیاری) بیشترین مقدار آب را مصرف می‌کند، گرچه سهم آن در سال‌های اخیر کاهش یافته است.

بازده کاربرد آب: روش ساده‌تر بازدهی استفاده از آب است که بعضی مواقع به آن بازدهی مصرف آب نیز اطلاق می‌شود. این واژه مقدار آب اختصاص یافته به یک مزرعه آبیاری شده را با میزان آب واقعی مصرف شده در گیاهان تحت آبیاری مورد مقایسه قرار می‌دهد. اکثر نظام‌های آبیاری در این مورد بسیار ناکارآمد می‌باشند به طوری که فقط ۳۰ تا ۵۰ درصد آب اخذ شده از منبع نهایتاً به ریشه گیاهان می‌رسد. اکثر هدررفت آب، در آبراهه‌ها و شبکه‌ی نهرهای توزیع آب به مزارع آبی صورت می‌گیرد. اگر انتقال به وسیله نهر بدون پوشش سرپاز باشد، آب با سرعت به طور قایم به زیر نهر به داخل آب زیرزمینی (هر چند بعضی از این آب ممکن است به وسیله آبیاران در اراضی پایین دست رودخانه مصرف شود) و به طور افقی نیز به داخل خاک در اطراف نهر حرکت می‌کند. حجم قابل توجهی از آب همچنین بر اثر تبخیر از سطح در نهرها و آبراهه‌ها تبخیر می‌شود. برای کاهش این تلفات هنگام توزیع آب، نهرها می‌توانند به وسیله بتن و یا پلاستیک پوشش یابند (شکل ۴۰-۶ را مشاهده کنید). در بعضی موارد، هدررفت ناشی از تبخیر هنگام توزیع با استفاده از لوله‌های بزرگ که بسیار گران‌تر از نهرهای روباز است حذف می‌شود.

بازده آب مزرعه: بازدهی آب در مزرعه ممکن است به صورت زیر بیان شود:

$$\text{بازدهی آب مزرعه} = \frac{100 \times \text{آب تهرق یافته به وسیله نبات}}{\text{آب مصرف شده در مزرعه}}$$



شکل ۴۰-۶ نهرهای آبیاری با پوشش سیمانی (مرکز) و لوله‌های سیفونی در اندازه استاندارد (سمت راست) می‌توانند بازده توزیع آب را در مزرعه افزایش دهند. نهرهای بدون پوشش سیمانی (سمت چپ) مقدار زیادی آب را در خاک‌های مجاور و یا آب زیرزمینی از دست می‌دهند. به شواهد حرکت مویینه در بالای نهرهای بدون پوشش توجه کنید.

ارقام بازدهی آب مزرعه، بسیار پایین بوده به خصوص اگر نظام‌هایی سنتی مورد استفاده باشند. معمولاً بیشتر از نصف آبی که در واقع در مزرعه توزیع شده است به وسیله نبات تهرق نمی‌یابد. بنابراین، به صورت رواناب سطحی. فرونشست پایین‌تر از ریشه نبات و یا بر اثر تبخیر از سطح خاک از دست می‌رود. از آنجاکه مقداری فرونشست برای حذف نمک‌های اضافی لازم است (بخش ۹-۱۰ را مشاهده کنید) بهترین

بازدهی آب مزرعه احتمالاً خیلی بزرگتر از ۸۰ تا ۹۰ درصد نمی‌باشد. دست‌یابی به مقادیر بالایی بازدهی آب مزرعه (هدررفت اندک آب) وابستگی بسیاری به مهارت مدیر آبیاری و روش‌های آبیاری به‌کار رفته دارد. بنابراین توجه خود را به روش‌های اصلی آبیاری که امروزه مورد استفاده‌اند معطوف می‌داریم.



شکل ۴۱-۶ نمایشی از آبیاری شاخص. استفاده از سیفون‌ها با سهولت نصب و یا لوله‌های درپچه‌دار سبب کاهش نیروی کار آبیاری شده و تنظیم میزان مصرف آب آسان‌تر می‌شود. به حرکت روبه بالای مویینه در دو طرف جوی‌ها توجه کنید.

آبیاری سطحی

در این نظام آب از طرف بلند مزرعه به‌کار گرفته شده و اجازه داده می‌شود که به‌وسیله‌ی جریان ثقلی توزیع یابد. معمولاً در این نظام اراضی باید چنان تسطیح گردیده و شکل داده شوند که آب به‌طور یکنواخت در طول مزرعه جریان یابد. آب ممکن است در داخل جویچه‌هایی با شیب اندک توزیع گردیده تا آب وارد شده در طرف بالای مزرعه از طریق جویچه‌ها با میزان تحت تنظیم به‌پایین جریان یابد (شکل ۴۱-۶). در نظام آبیاری نواری^۱، اراضی در نوارهای پهن با عرض ۱۰ تا ۳۰ متر که به‌وسیله‌ی پشته‌های کوتاهی مرزبندی می‌شوند، شکل داده می‌شوند. تنظیم آب: آب معمولاً در مزارع آبیاری به‌وسیله‌ی نهرها و یا لوله‌های درپچه‌دار (همانند آنچه در شکل‌های ۴۰-۶ و ۴۱-۶ آمده است) انتقال می‌یابد. میزان آبی که وارد خاک می‌شود به‌وسیله‌ی نفوذپذیری خاک و طول مدت زمانی که یک نقطه خاص زیر آب می‌ماند تعیین می‌شود. دست‌یابی به نفوذپذیری یکنواخت به مقدار مورد نیاز بسیار مشکل است و در ارتباط با شیب و طول کرت‌های آبیاری در مزرعه می‌باشد. اگر خاک خیلی قابل نفوذ باشد (بعضی از خاک‌های لوم شنی) آب خیلی زیادی ممکن است در قسمت بالای مزرعه نفوذ کرده و مقدار خیلی کمی به قسمت پایین آن برسد (شکل ۴۲-۶). از طرف دیگر در یک خاک بافت ریز نفوذ آب ممکن است چنان آرام باشد که آب در سطح مزرعه جاری گردد و در قسمت پایین مزرعه به‌صورت ماندابی در آمده و یا بدون نفوذ در خاک هرز رود. بنابراین در خاک‌های خیلی شنی، هدررفت آب و مواد غذایی ناشی از آبیاری در قسمت بالای مزرعه مسأله می‌باشد. در خاک‌های رسی، فرسایش، رواناب و ماندابی‌شدن ممکن است در قسمت پایین مزرعه مسأله باشد.

^۱ - Border irrigation

روش کرت‌های مسطح^۱ در آبیاری سطحی همانند آنچه در شالیزارها و درختان خاص به کار می‌رود سبب تخفیف این مسایل می‌شود. زیرا هر حوضچه بدون شیب بوده و به‌طور کامل به‌وسیله‌ی پشته‌هایی احاطه می‌شود که اجازه می‌دهند آب در آن‌ها تا کامل شدن نفوذ باقی بماند.

جدول ۸-۶ بعضی از ویژگی‌های سه روش اصلی آبیاری

روش آبیاری و مثال‌های خاص	هزینه‌های شبکه‌ی نصب ۱۹۹۶ بر حسب دلار (الف)	نیروی کارگر لازم بالا تا اندک بسته به شبکه	بازدهی آب مزرعه (درصد) (ب)	خاک‌های مناسب
آبیاری سطحی: کرتی ^۲ سیلابی ^۳ جویچه‌ای ^۴	۴۰۰-۷۰۰	بالا تا اندک بسته به شبکه	۴۰-۵۰	اراضی نسبتاً مسطح - خیلی شنی و خیلی صخره‌ای نباشد
آبیاری بارانی: دورانی ^۵ - سیار، ثابت ^۶	۶۰۰-۱۲۰۰	متوسط تا اندک	۶۰-۷۰	مسطح تا شیب متوسط خیلی رسی نباشد
ریزآبیاری: شامل قطره‌ای ^۷ لوله مشبک ^۸ قطره‌افشان ^۹ حبابی ^{۱۰}	۷۰۰-۱۵۰۰	کم	۸۰-۹۰	اراضی مسطح تا پرشیب، هر نوع بافت از جمله خاک‌های صخره‌ای و سنگریزه‌ای

الف- هزینه‌های نظام زه‌کش منظور نشده است

ب- بازدهی آب در مزرعه عبارتست از: (آب تعرق یافته نبات) × ۱۰۰

آب مصرف شده در مزرعه

این روش برای خاک‌های خیلی قابل نفوذ که آب در داخل آن‌ها چنان سریع نفوذ می‌کند که هیچ‌وقت کورت پر نمی‌شود مناسب نمی‌باشد. در اراضی شیب‌دار سکوهایی می‌توانند به‌صورت تغییراتی در روش کرت‌های مسطح ساخته شوند (شکل ۴۳-۶). انواعی از آبیاری سطحی در طول ۵۰۰۰ سال مورد استفاده بوده‌اند آن‌ها نیازمند ادوات اندکی بوده و اجرای آن‌ها نسبتاً ارزان است، هزینه‌ی سرمایه‌ای اصلی معمولاً شکل‌دادن اولیه اراضی است که ممکن است اگر اراضی در شروع کار مسطح نباشند کاملاً پرهزینه گردد. گرچه تنظیم هدررفت ناشی از آبشویی و رواناب مشکل بوده و سراسر سطح خاک چنان مرطوب می‌شود که بیشتر آب بر اثر تبخیر از سطح خاک و یا به‌وسیله‌ی تعرق گیاهان هرز از دست می‌رود.

نظام آبیاری بارانی

در آبیاری بارانی آب از طریق هوا بر روی مزرعه پاشیده شده و مشابه بارندگی می‌باشد. بنابراین، سراسر سطح خاک و همچنین پوشش برگی (اگر وجود داشته باشد) مرطوب می‌شوند. این سبب هدررفت ناشی از تبخیر مشابه با آنچه درمورد آبیاری سطحی تشریح شد، می‌گردد. به‌علاوه ۵ تا ۲۰٪ آب استعمال شده ممکن است بر اثر تبخیر و یا انتقال ذرات مه با باد هنگام پرواز قطرات در هوا از دست برود. یک مزیت این نظام عبارت از عکس‌العمل مثبت نبات به آب خنک‌تر با تهویه بیشتر باران می‌باشد. یکی از مضار آن امکان افزایش شیوع امراض قارچی در برگ‌های بعضی نباتات مانند انگور، درختان میوه و گل‌های سرخ می‌باشد. بنابراین آبیاری بارانی معمولاً برای این نباتات به کار نمی‌رود. تنظیم آب: یک شبکه‌ی آبیاری باید چنان طراحی شود که آب را به‌میزانی که کمتر از ظرفیت نفوذ خاک است توزیع کند، به‌طوری‌که رواناب و فرونشست زیاد صورت نگیرد. در عمل ممکن است وقتی ظرفیت نفوذ خاک اندک بوده و اراضی نسبتاً شیب‌دار و یا آب بسیار

^۱ - Level basin

^۲ - Basin irrigation

^۳ - Flood irrigation

^۴ - Furrow irrigation

^۵ - Center pivot

^۶ - Solid set

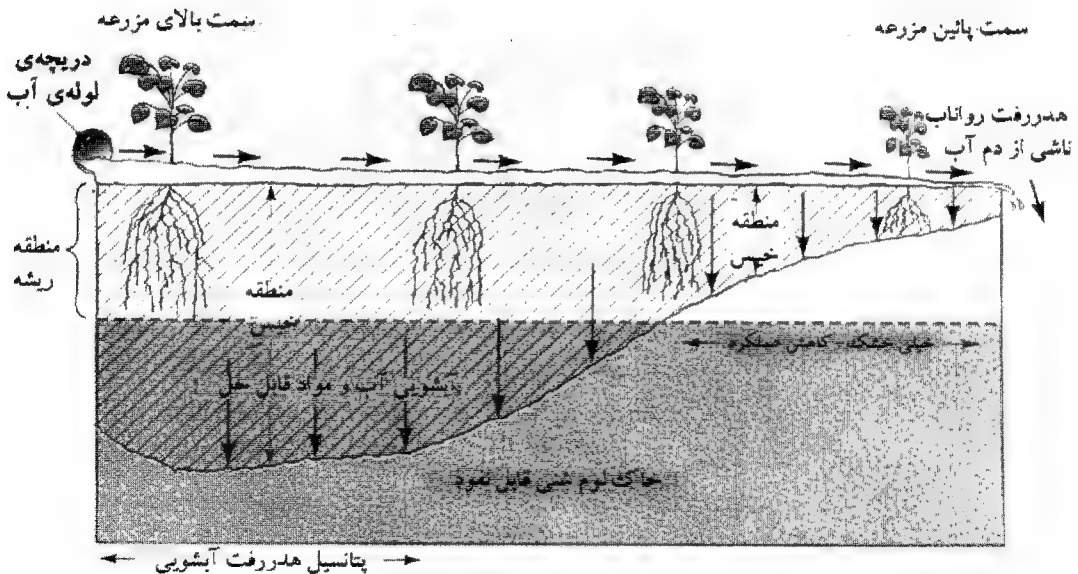
^۷ - Drip irrigation

^۸ - Porous pipe

^۹ - Spitter

^{۱۰} - Bubbler

زیادی در یک محل استعمال گردد رواناب و فرسایش مسأله‌ای را ایجاد کنند. بعضی مواقع ممکن است بر اثر فرونشست به‌خاطر پاشش آب بیشتری در منطقه نزدیک آب‌پاش، درمقایسه با دورتر از آن آب از دست برود. همپوشانی دایره‌های آب‌پاشی شده می‌تواند به توزیع یکنواخت‌تر آب کمک کند. به‌خاطر تنظیم بیشتر میزان استعمال، بازدهی آب مزرعه در نظام‌های آبیاری بارانی از نظام‌های سطحی به‌خصوص در خاک‌های بافت درشت، معمولاً بالاتر است.



شکل ۴۲-۶ توزیع آب در خاک‌های بافت درشت در آبیاری سطحی. میزان ظرفیت نفوذ بالا سبب نفوذ اکثر آب در نزدیکی دریچه‌های لوله‌ها در قسمت بالای مزرعه می‌باشد. توزیع غیریکنواخت آب سبب ایجاد توان برای هدررفت آب و مواد شیمیایی محلول بر اثر آبشویی در قسمت فوقانی مزرعه می‌گردد. درحالی‌که ممکن است گیاهان در قسمت پایین مزرعه آب ناکافی برای مرطوب کردن تمام منطقه ریشه دریافت دارند. در خاکی با نفوذپذیری کمتر و یا در مزرعه‌ای با شیب تند هدررفت ناشی از رواناب احتمالاً در بخش پایین مزرعه بیشتر بوده و پتانسیل آبشویی در قسمت فوقانی پایین می‌باشد.



شکل ۴۳-۶ نظام کرت مسطح در آبیاری سطحی که برای اراضی شیب‌دار در جنوب آسیا به‌وسیله‌ی ساخت سکوها تغییر یافته است. برنج در کرت‌های غرقابی رشد می‌کند، این نوع آبیاری فقط برای خاک‌هایی با نفوذپذیری پایین مناسب است.

خاک‌های مناسب: آبیاری بارانی در دامنه‌ی وسیعی از خاک‌ها در مقایسه با آبیاری سطحی قابل انجام می‌باشد. انواع مختلفی از نظام‌های آبیاری بارانی با خاک‌های دارای شیب متوسط و همینطور خاک‌های مسطح تطابق یافته‌اند. آن‌ها می‌توانند در خاک‌ها با دامنه وسیعی از بافت‌ها حتی، برای خاک‌های بسیار شنی نامناسب برای آبیاری سطحی، مورد استفاده قرار گیرند.

تجهیزات: هزینه تجهیزات در نظام‌های آبیاری بارانی از نظام سطحی بالاتر است. پمپ‌های فشار قوی و لوله‌ها و نازل‌های به‌خصوص مورد نیاز می‌باشند. بعضی از انواع آبیاری بارانی در محل ثابت بوده و بعضی دیگر به‌وسیله‌ی کارگر جابه‌جا می‌شود. انواع دیگری وجود دارند که خودگردان هستند چه به‌صورت حرکت چرخشی در دایره‌های بزرگ حول یک محور مرکزی^۱ (شکل ۴۴-۶) و چه به‌صورت حرکت آرام در طول یک مزرعه مستطیلی^۲ (متحرک چرخ‌دار). اکثر نظام‌ها می‌توانند خودکار گردیده و برای توزیع مقادیر لازم آفت‌کش‌ها و کودهای شیمیایی تطابق یابند.

ریزآبیاری^۳

کلمه‌ی ریز، در ریزآبیاری مطرح می‌سازد که فقط بخش کوچکی از خاک به‌وسیله‌ی این نظام مرطوب می‌شود (برعکس مرطوب‌شدن کامل خاک که به‌وسیله‌ی اکثر نظام‌های آبیاری سطحی و بارانی صورت می‌گیرد). این کلمه همچنین ممکن است به مقدار اندک آب استعمال شده در هر نوبت و یا به اندازه‌ی کوچک تجهیزات مربوط اشاره داشته باشد.

شاید بهترین نظام ریزآبیاری تثبیت شده قطره‌ای^۴ (یا قطره‌چکانی) باشد که در آن قطره‌چکان‌های کوچک متصل به لوله‌های پلاستیکی آب را در خاک و کنار هر نبات قرار می‌دهد. در بعضی موارد لوله‌ها و قطره‌چکان‌ها در عمق ۵۰-۲۰ سانتی‌متری دفن می‌شوند تا آب مستقیماً در منطقه‌ی انتشار ریشه توزیع گردد. در سایر موارد آب ممکن است با میزان اندک (بعضی مواقع قطره‌قطره) اما به‌طور مکرر برای حفظ قابلیت استفاده‌ی بهینه آب خاک در مجاورت منطقه ریشه استعمال گردد، درحالی‌که اکثر حجم خاک خشک باقی می‌ماند (شکل ۴۵-۶ الف). سایر اشکال ریزآبیاری که برای آبیاری تک درخت بخوبی سازگاری یافته است شامل قطره‌افشان‌ها^۵ (افشانک) و حبابی‌ها^۶ (لوله‌های قائم کوچک قلزن) (شکل ۴۵-۶ ب) می‌باشد. حبابی‌ها (و به‌خصوص افشانک‌ها) به حوضچه‌ی کوچک مسطح در زیر درخت نیازمندند.

تنظیم آب: آب معمولاً به‌وسیله‌ی لوله‌ها به مزرعه می‌رسد و از درون صافی‌هایی خاص برای حذف هرگونه خشن و خاشاک و مواد شیمیایی که ممکن است سبب گرفتگی سوراخ‌های باریک در قطره‌چکان‌ها گردد، عبور می‌کند (برای قلزن‌ها از صافی گذراندن لازم نیست)، و سپس به‌وسیله‌ی شبکه‌ای از لوله‌های پلاستیک در مزرعه توزیع می‌گردد کودهای شیمیایی محلول در صورت نیاز می‌توانند به آب اضافه شوند. در صورت مدیریت و نگهداری مناسب، ریزآبیاری امکان اداری بیشتری را بر میزان کاربرد و توزیع مکانی آب درمقایسه با دو نظام آبیاری سطحی و بارانی اعمال می‌کند. هدررفت‌های ناشی از نشت از نهر آب‌رسانی، تبخیر حاصل از قطرات در آبیاری بارانی، رواناب، زه‌کشی (بیشتر از آن‌چه برای آبشویی نمک‌ها لازم است)، تبخیر از سطح خاک و تفرق به‌وسیله‌ی گیاهان هرز می‌تواند شدیداً کاهش یافته و یا حذف شوند. در صورت نصب شبکه، نیروی کار لازم برای مدیریت شبکه متوسط می‌باشد.

ریزآبیاری معمولاً سبب تولید نباتات سالم‌تر و عملکرد زیادتر می‌شوند زیرا نبات هیچوقت دچار تنش پتانسیل اندک آب خاک و یا تهویه ضعیف در شیوه‌های آبیاری پرافراط و تفریط، با استعمال مقادیر زیاد آب در دفعات کم که با تمام نظام‌های آبیاری سطحی و بیشتر نظام‌های آبیاری بارانی همراه است، نمی‌گردد. اشکال و یا خطر دیگر در ریزآبیاری، ذخیره‌ی اندک آب در خاک در هر زمان است به‌طوری‌که کوچک‌ترین خلل در نظام در آب‌وهوای گرم می‌تواند به یک فاجعه تبدیل گردد.

تجهیزات: هزینه‌ی سرمایه‌ای برای ریزآبیاری از سایر نظام‌ها بالاتر است (جدول ۸-۶ را مشاهده کنید). اما در صورتی‌که هزینه شبکه‌های زه‌کشی برای مهار شوری و خارج کردن آب اضافی را در نظام سطحی و هزینه‌های پمپاژ سنگین را در آبیاری بارانی و ارزش واقعی آب تلف شده را در نظر بگیریم، تفاوت‌ها چندان زیاد نخواهد بود. به‌دلیل بازدهی بالای استفاده از آب، ریزآبیاری وقتی که عرضی آب اندک و گرانبهاست، و وقتی که گیاهان پرارزش مانند درختان میوه کشت می‌شوند، دارای بیشترین فایده می‌باشد.

^۱ - Central pivot

^۲ - Wheelmove

^۳ - Microirrigation

^۴ - Dripirrigation

^۵ - Spitter

^۶ - Bubbler

مدیریت آب آبیاری

دو مسأله عمده مدیریت آبیاری که در ارتباط با کیفیت آب آبیاری و بازدهی آن برای تولید محصولات نباتی می باشد عبارتند از:

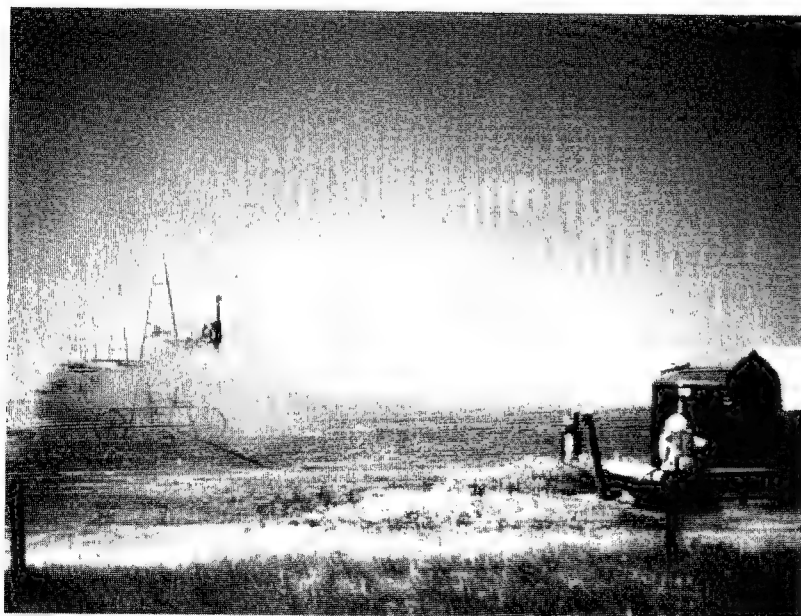
ایجاد شوری: اکثر نظام های آبیاری در مناطق نیمه خشک و خشک قرار گرفته اند که میزان نمک های محلول در آب زه کش، و در نتیجه در رودخانه ها و نهرهای آنها، نسبتاً بالا می باشد. وقتی این آب به خاک اضافه می شود. و فرونشست صورت می گیرد نمک بیشتری از خود خاک نیز در آن حل شده و سبب شور شدن آب زهاب حتی بیشتر از آب آبیاری اولیه می شود. با مصرف دوباره ی زهاب به طور مکرر در پایین دست رودخانه، نمک تجمع یافته در آب می تواند برای خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاکی که در آن استعمال می شود بسیار خسارت ز باشد (تابلو ۱-۱۰).

مصرف آب به طور مؤثر: عملیات لازم برای بالا بردن بازدهی استفاده از آب باید با جمع آوری آب از حوزه های آب خیز و پمپاژ محتاطانه از آب خوان ها شروع شود. در مرحله بعد نهرهای توزیع آب باید پوشش داشته و یا حتی بهتر، باید به وسیله ی لوله ها جایگزین گردد تا از تلفات عمده قبل از ورود آب به مزرعه اجتناب گردد. به محض رسیدن آب به مزرعه، هر کدام از زارعین باید کاراترین نظام آبیاری را که دارای سهولت اجراست انتخاب نموده و آن را در بالاترین کارایی نگهدارد. نظام های ریز آبیاری بدون شک دارای بالاترین بازدهی استفاده از آب می باشند، اما در این که اقتصادی ترین نظام برای یک موقعیت خاص باشد و یا نباشد وابسته به عوامل زیادی است.

در شرایط مزرعه، استفاده از پس ماند های گیاهی و یا خاک پوش ها برای کاهش تبخیر از سطح خاک و در عین حال کاهش دما (بخش ۱۲-۷ را مشاهده کنید) می تواند سبب افزایش توان تولید و بازدهی استفاده از آب گردد. عاقلانه این است که آبیاری را به آن کشت هایی اختصاص داد که دارای محصولات پراورش با کمترین میزان نیاز آب باشند. در حال حاضر آب زیادی برای تولید محصولات کم ارزش دارای نسبت تعرق زیاد (مانند گیاهان علوفه ای، غلات و پنبه) تلف می شود، که می توانند از مناطق دیم خیز بسیار اقتصادی تر از مناطق آبی که تمام هزینه های تامین آب آبیاری به طور واقعی به وسیله ی زارعین پرداخت می شود (برخلاف پرداخت یارانه که به وسیله ی دولت می باشد)، وارد گردند.

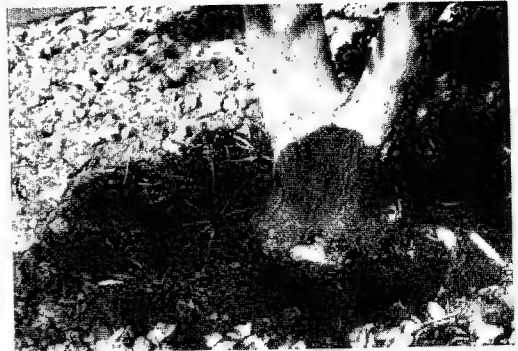
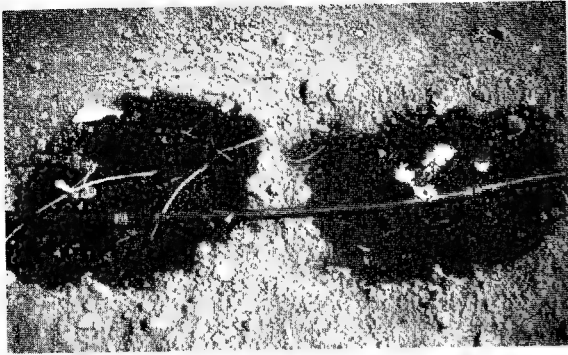
به همین ترتیب کوشش مالکین منازل در مناطق خشک به جای پرورش گیاهان خشکی پسند بیابانی و مصرف خاک پوش ها و سنگ ها، به حفظ چشم انداز مناطق مرطوب (چمن های سبز و بوته های مصرف کننده ی آب) سبب اتلاف آب می شود.

نهایتاً برای حفظ و ارتقاء تولیدات نباتی در مواجهه با تحلیل رفتن منابع آب، کاربرد آن باید بر اساس نیاز نبات که با آب و هوا، شاخص سطح برگ^۱ و دیگر عوامل تغییر می کند زمان بندی شود. اصول اساسی نگهداری و حرکت آب در خاک ها، و استفاده از آب به وسیله ی گیاهان همان طور که در این فصل و فصل قبل تشریح گردید، باید برای توسعه ی برنامه ریزی آبیاری مؤثر مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۴-۶ یک نظام آبیاری بارانی (با محور مرکزی) در کلرادو شرقی. نظام چپ گرد بوده (به خاک خشک در منتهی الیه سمت چپ توجه کنید) و محور مرکزی نظام در فاصله نیم کیلومتری قرار گرفته است. هر کدام از برج های خودگردان هماهنگ با دیگران حرکت می کند. سایه بان در سمت راست یک پمپ آبیاری دیزلی که آب را از آب خوان عمیق استخراج می کند پوشش می دهد. مخزن در کنار سایه بان کود شیمیایی مایع را نگهداری می کند که می تواند به اندازه ی مورد نظر به داخل آب آبیاری وارد شود.

^۱ - Leaf area index (LAI)



شکل ۴۵-۶ دو نمونه از ریزآبیاری. (سمت چپ) آبیاری قطره‌ای و یا قطره‌چکانی برای هر گیاهچه در مزرعه کلم در افریقا. (سمت راست) یک ریزاشنان یا افشانک که درختی را در یک باغچه خانگی آبیاری می‌کند. در هر مورد آبیاری فقط بخش کوچکی از خاک را که در مجاورت منطقه‌ی ریشه قرار دارد مرطوب می‌کند. استعمال مقادیر اندک آب در دفعات مکرر (یک یا دو بار در روز) باعث می‌شود که منطقه ریشه به‌طور مداوم در یک میزان رطوبت بهینه نگهداری شود.

۱۲-۶ نتیجه‌گیری نهایی

چرخه آب دربرگیرنده تمامی حرکت‌های آب در سطح و یا نزدیک سطح زمین است. این چرخه به وسیله انرژی خورشیدی به‌حرکت در می‌آید و سبب تبخیر آب دریاها، خاک و پوشش گیاهی می‌شود. آب در نیوار به چرخش در آمده و به‌وسیله باران و برف به خاک و دریاها باز می‌گردد.

خاک یکی از اجزاء اساسی چرخه آب است. خاک بارندگی را از نیوار دریافت کرده، قسمتی از آن را که قبول نمی‌کند سبب ایجاد رواناب به داخل جویبارها و رودخانه‌ها شده و باقی‌مانده را جذب می‌کند که از آن پس یا به‌طرف پایین خاک‌رخ حرکت کرده، و به‌صورت آب زیرزمینی درمی‌آید، که یا به‌وسیله نجات جذب و بعداً به‌صورت تعرق به نیوار بر می‌گردد و یا این‌که مستقیماً از سطح خاک تبخیر شده و به نیوار می‌رسد. رفتار و حرکت آب در خاک و گیاهان تحت سیطره مجموعه‌ای از اصول یکسان می‌باشد. آب در پاسخ به اختلاف سطح انرژی از منطقه‌ای با پتانسیل آب بالا به منطقه دیگر با پتانسیل آب کم حرکت می‌کند. این اصول می‌تواند برای مدیریت آب به‌طور مؤثرتر و در بالا بردن بازده مصرف آن مورد استفاده قرار گیرند.

عملیات مدیریتی باید ضمن حذف تلفات تبخیر (E) از سطح خاک سبب تقویت حرکت آب به داخل خاک‌های دارای زه‌کشی خوب گردد. این دو هدف سبب تامین هرچه بیشتر آب در حد مقدور برای جذب به‌وسیله نباتات و تغذیه‌ی آب زیرزمینی می‌گردد. آب خاک باید نیازهای تعرق نبات (T) با سطح برگ سالم را تامین کند؛ در غیراین‌صورت رشد نبات بر اثر تنش آب محدود می‌گردد. عملیاتی که سبب حفظ پس‌مانده‌های گیاهی و حداکثر سایه‌دهی نبات در سطح خاک می‌شود، در بدست آوردن بازده بالای استفاده از آب کمک می‌کند. رطوبت بیش از حد خاک که بر اثر ماندابی بودن آب در سطح و شرایط اشباع مشخص می‌شود، یک شرط طبیعی و لازم برای بوم‌سامان‌ها در اراضی ماندابی می‌باشد، هرچند در دیگر کاربری‌های اراضی رطوبت بیش از حد زیان‌بار است. بنابراین شبکه‌های زه‌کشی برای تسریع در خارج کردن آب اضافی و پایین آوردن سطح ایستابی ابداع شده‌اند تا گیاهان اراضی مرتفع بدون هیچ‌گونه تنش تهویه‌ای رشد نموده و خاک بتواند وزن و سایل تقویه و سنگین پاها را تحمل کند.

یک میدان زه‌کشی مخزن فاضلاب همانند یک شبکه‌ی زه‌کشی اما برعکس عمل می‌کند. فاضلاب‌ها می‌توانند به‌وسیله خاک‌ها، اگر دارای زه‌کش خوب باشند، دفع و تصفیه گردند. خاک‌هایی با نفوذپذیری پایین و یا سطح ایستابی بالا ممکن است شرایط مناسبی برای ایجاد اراضی ماندابی داشته و یا محل‌هایی مناسبی برای نصب زه‌کش مصنوعی برای استفاده‌های کشاورزی باشند. اما آن‌ها معمولاً برای میدان‌های زه‌کش مخزن فاضلاب مناسب نیستند.

آب آبیاری حاصل از رودخانه‌ها و یا چاه‌ها معمولاً سبب ارتقاء رشد نبات، به‌خصوص در مناطقی که دارای بارندگی محدود هستند، می‌گردد. در اثر افزایش رقابت برای منابع آب محدود ضروری است که آبیاری‌کنندگان چنان مدیریت آب را برای حداکثر بازده اعمال کنند که بالاترین تولید بدون کمترین تلفات آب حاصل آید. این کارایی به‌وسیله عملیاتی مانند خاک‌پوش و یا ریزآبیاری حاصل می‌شود که

سبب برتری تفرق بر تبخیر باشد. همان‌طور که عمل چرخه آب سبب تغییرات ثابت در میزان آب خاک می‌گردد، سایر ویژگی‌های خاک نیز تحت تاثیر قرار می‌گیرند که از همه قابل توجه‌تر، تهویه و دمای خاک است که موضوع فصل بعد می‌باشد.

سوالات برای مطالعه

- ۱- می‌دانید که پوشش جنگلی که ۱۲۰ کیلومتر مربع از یک حوزه‌ی آب‌خیز دست‌نخورده را تشکیل می‌دهد به‌طور متوسط روزانه ۴ میلی‌متر آب را در تابستان مصرف می‌کند، و همچنین می‌دانید که خاک به‌طور متوسط دارای ۱۵۰ سانتی‌متر عمق و دارای ۰/۲ میلی‌متر آب در هر میلی‌متر عمق خاک در ظرفیت مزرعه (FC) می‌باشد. در شروع فصل، خاک کاملاً خشک بوده و دارای حدود ۰/۱ میلی‌متر آب در هر میلی‌متر عمق بود. به‌عنوان یک مدیر حوزه‌ی آب‌خیز از شما خواسته می‌شود که برآورد کنید چقدر آب به‌وسیله‌ی جویبارهایی تخلیه‌کننده‌ی حوزه‌ی آب‌خیز در طول ۹۰ روز تابستان که ۴۵۰ میلی‌متر بارندگی بر روی منطقه ریزش می‌کند خارج می‌شود. از معادله تعادل آب برای تخمین سرانگشتی تخلیه‌ی جویبارها به‌عنوان درصدی از بارندگی برحسب مترمکعب استفاده کنید.
- ۲- یک تصویر ساده از چرخه آب بکشید و از پیکان‌های جداگانه برای معرفی فرایندهای: تبخیر، تفرق، نفوذ، برگاب، فرونشست، رواناب سطحی و ذخیره خاک استفاده کنید.
- ۳- اثرات غیرمستقیم گیاهان را بر تعادل آبی از طریق تاثیر آن‌ها بر خاک تشریح کرده و مثالی ارائه دهید.
- ۴- اصول اساسی حاکم بر حرکت آب در زنجیره خاک گیاه و نیوار (SPAC) را بیان نموده و مثال ارائه کنید یکی در فصل مشترک خاک - ریشه و دیگری در فصل مشترک برگ و نیوار باشد.
- ۵- تبخیر تفرق پتانسیل را تعریف کنید و اهمیت آن را در مدیریت آب بیان کنید.
- ۶- نقش تبخیر از سطح خاک (E) در تعیین بازدهی استفاده از آب چیست و چگونه در ET مؤثر می‌باشد سه نوع عملیات را نام ببرید که می‌تواند برای کنترل E مورد استفاده باشد.
- ۷- کنترل علف‌های هرز سبب کاهش تلفات آب به‌وسیله‌ی کدام فرایند می‌شود؟
- ۸- در مزایا و یا مضار خاک‌پوش‌های آلی در مقایسه با خاک‌پوش‌های پلاستیکی اظهار نظر کنید.
- ۹- خاک‌ورزی حفاظتی سبب حفاظت چه می‌شود و چگونه آن را انجام می‌دهد؟
- ۱۰- لایسیمتر چیست و برای چه کارهایی به‌کار برده می‌شود؟
- ۱۱- تحت کدام شرایط راه‌های کرم خاکی ممکن است سبب افزایش حرکت اشباع آب به طرف پایین گردیده اما تاثیر زیادی بر آبشویی مواد شیمیایی محلول مصرف شده در خاک نداشته باشد؟
- ۱۲- تاثیر نصب یک لوله زه‌کش مشبک در حاشیه موینگی درست در بالاتر از سطح ایستابی در یک خاک مرطوب چه خواهد بود. طبق واژه‌های پتانسیل آب توضیح دهید.
- ۱۳- کدام چهره خاک ممکن است در استفاده یک منطقه برای میدان زه‌کشی فاضلاب محدودیت ایجاد کند؟
- ۱۴- کدام نظام آبیاری به‌نظر می‌رسد در جایی به‌کار می‌رود که: ۱- آب گران بوده و ارزش تجاری محصولات تولید شده در هکتار بالا باشد. ۲- به هزینه آب آبیاری یارانه داده شود. و ارزش محصولات که می‌تواند تولید شوند در هکتار پایین باشد؟ توضیح دهید.

زمین عربان در بهار گرم است
جولیان گرینفیلد

فصل ۷

تهویه و دمای خاک

یک اصل عمومی در بوم‌شناسی این است که هر چیزی با چیز دیگر مربوط است، این به هم ارتباط داشتن یکی از دلایلی است که خاک یک موضوع جذاب (و پرچالش) برای مطالعه باشد. در این فصل ما دو جنبه از محیط خاک، تهویه و دما را مورد بررسی قرار خواهیم داد این دونه‌تنها در ارتباط نزدیک با همدیگر می‌باشند، بلکه نهایتاً تحت تأثیر بسیاری از خصوصیات خاک قرار دارند که در فصل‌های دیگر مورد بحث قرار خواهند گرفت.

از آن‌جا که آب و هوا در منافذ خاک باهم شریک می‌باشند بنابراین تعجب‌آور نیست که بسیاری از مطالبی که ما در مورد بافت، ساختمان و تخلخل خاک (فصل چهارم) و نگهداری و حرکت آب در خاک (فصل پنجم و ششم) آموختیم اثر مستقیم بر روی تهویه خاک داشته باشند. این‌ها بعضی عوامل فیزیکی هستند که در وضعیت تهویه‌ی خاک مؤثر می‌باشند، اما فرایندهای شیمیایی و زیستی نیز در تهویه مؤثر بوده و خود تحت تأثیر تهویه قرار دارند.

برای رشد نباتات و فعالیت ریزجانداران و وضعیت تهویه خاک می‌تواند همان اهمیت رطوبت خاک را داشته و در برخی موارد مدیریت آن حتی مشکل‌تر باشد. در انواع استفاده‌های جنگل، مرتع، زراعت و گیاهان زینتی یکی از اهداف عمده‌ی مدیریت، نگهداری میزان بالای اکسیژن در خاک برای تنفس ریشه است. گرچه درک تغییرات شیمیایی و زیستی که با تخلیه‌ی میزان عرضه اکسیژن صورت می‌پذیرد نیز حیاتی می‌باشد.

دمای خاک در رشد گیاه و ریزجانداران، و همچنین خنک شدن و تبخیر خاک مؤثر است. حرکت و نگهداری انرژی حرارتی در خاک معمولاً مورد مسامحه قرار گرفته، اما کلید اصلی درک بسیاری از پدیده‌های مهم خاک را از خدمات خطوط لوله‌کشی و پیاده‌روهای صدمه دیده از یخ‌زدن، تا بیدار شدن فعالیت‌های زیستی بهاره در خاک دردست دارد. دماهای غیرمعمول که از آتش‌سوزی در جنگل، مرتع و اراضی زراعی حاصل می‌شود می‌تواند خصوصیات اساسی فیزیکی و شیمیایی خاک را به‌طور قابل توجه تغییر دهد.

ما خواهیم دید، افزایش دمای خاک در تهویه خاک از طریق واکنش‌های زیستی بسیار مؤثر است. این روابط داخلی در هیچ‌جا به اندازه‌ی اراضی باتلاقی اشباع در آب بحرانی نیست، بوم‌سامان‌هایی که در این فصل مورد توجه خاص قرار خواهند گرفت.

۱-۷ سرشت تهویه خاک

تهویه عبارت از تبادل هوای خاک با عبور گازها به‌داخل و یا به‌خارج خاک می‌باشد. تهویه تعیین‌کننده‌ی میزان تبادل گازی با نیوار، نسبت فضای اشغال‌شده خاک به‌وسیله‌ی هوا، ترکیب هوای خاک و پتانسیل (توان) اکسید-احیایی در محیط خاک می‌باشد. گازهای اکسیژن (O_2) و اکسید کربن (CO_2) همراه با آب، اجزا اصلی دو فرایند اساسی زیستی (۱) تنفس سلول‌های تمام گیاهان و جانوران و (۲) فتوسنتز (سوخت‌وساز نوری) که سبب ایجاد قند، یا سنگ بنای ساختمانی برای تمام مواد غذایی است می‌باشد. تنفس که سبب مصرف O_2 و تولید CO_2 می‌گردد، سبب اکسایش ترکیبات آلی (قند به‌عنوان یک ترکیب آلی) به‌شرح زیر می‌باشد:



طی سوخت و ساز نوری این واکنش برعکس می‌شود. گاز کربنیک و آب به وسیله گیاهان سبز باهم ترکیب شده، و به شکل قند درآمده، و گاز اکسیژن برای تنفس تمام جانداران، از جمله انسان آزاد می‌شود.

تهویه خاک یک جز بحرانی از این نظام کلی می‌باشد. برای تداوم تنفس ریز جانداران در خاک، باید اکسیژن عرضه شده و گاز کربنیک از بین برود. طی فرایند تهویه تبادل این دو گاز در بین خاک و نیوار صورت می‌گیرد. در خاک دارای تهویه خوب این تبادل به میزان کافی سریع بوده و از کمبود اکسیژن و سمیت گاز کربنیک اضافی جلوگیری می‌کند. برای اکثر گیاهان زراعی مناطق مرتفع عرضه اکسیژن در خاک باید بالاتر از ۰/۱ لیتر در لیتر باشد (در مقایسه با ۰/۲ لیتر در لیتر نیوار). در مقابل غلظت CO_2 و سایر گازهای دارای پتانسیل (توان) سمیت، مانند متان، اتیلن، نباید از مقدار لازم بیشتر تمرکز یابد.

۲-۷ تهویه خاک در مزارع

قابلیت استفاده‌ی اکسیژن در مزرعه به وسیله سه عامل اصلی تنظیم می‌شود:

- ۱- تخلخل درشت خاک (که تحت تأثیر بافت و ساختمان خاک است).
 - ۲- میزان آب موجود در خاک (در مقدار تخلخل که به وسیله هوا اشغال می‌شود مؤثر است).
 - ۳- مصرف گاز O_2 به وسیله تنفس جانداران (از جمله ریشه گیاهان و ریز جانداران خاک).
- واژه تهویه ضعیف خاک حاکی از شرایطی است که در آن قابلیت استفاده O_2 در منطقه‌ی ریشه برای رشد بهینه‌ی اکثر نباتات کافی نباشد. به طور شاخص تهویه‌ی ناقص. وقتی بیشتر از ۸۰ تا ۹۰ درصد فضای منافذ با آب پر شود (۱۰ تا ۲۰ درصد منافذ به وسیله هوا اشغال شده باشند) مانع بزرگی در مقابل رشد نباتات می‌باشد. میزان رطوبت زیاد نه تنها منافذ اندکی برای ذخیره هوا باقی می‌گذارد اما مهم‌تر از آن، آب سبب مسدود شدن مسیرهای تبادل گازها با نیوار می‌شود. تراکم نیز می‌تواند حتی وقتی خاک خیلی مرطوب نبوده و دارای درصد زیادی از منافذ پر از هوا باشد سبب قطع تبادل گازها شود.

رطوبت اضافی

حالت شدید آب اضافی وقتی است که تقریباً تمام منافذ خاک از آب پر شده باشد، به خاک در این حالت اشباع از آب و یا ماندابی گفته می‌شود. شرایط ماندابی شاخص خاک‌های باتلاقی است، گرچه ممکن است حتی در زمان‌های خیلی کوتاه در فروافتادگی‌های مناطق مرتفع نیز به دنبال بارندگی‌های شدید، آبیاری بیش از حد، و یا تراکم خاک بر اثر شخم کردن و یا ماشین‌آلات صورت پذیرد.

این اشباع کامل خاک به وسیله آب برای گونه‌های گیاهی که ریشه‌های آن‌ها دارای امکانات خاص برای کسب اکسیژن حتی در صورت محاصره کامل خود به وسیله آب می‌باشند مسأله‌ای را ایجاد نمی‌کند. به این گیاهان که چنین با زندگی در خاک‌های ماندابی تطبیق یافته‌اند گیاهان آب‌زی گفته می‌شود. برای مثال تعدادی از گونه‌های گیاهان چمنی از جمله برنج، علف گامای شرقی^۱ و علف باتلاقی اسپارتینا^۲ اکسیژن را برای تنفس ریشه از ساختمان‌های خالی موجود در ساقه و ریشه خود با نام بافت اراتشیم^۳ به پایین انتقال می‌دهند. درخت حرا^۴ (شکل ۷-۱) و سایر درختان آب‌زی^۵ ریشه‌های هوایی و سایر اندام‌ها ایجاد می‌کنند که به ریشه آن‌ها امکان می‌دهد برای رشد در خاک‌های اشباع از آب، از هوا اکسیژن دریافت دارند. اکثر نباتات وابسته به عرضه اکسیژن از خاک بوده و اگر تهویه‌ی خوبی به وسیله زه‌کشی و یا سایر عملیات فراهم نشود به طور شدیدی تحت تأثیر قرار می‌گیرند (شکل ۷-۲). بعضی از گیاهان در طول چند ساعت بعد از مواجه با کمبود اکسیژن و یا سمیت سایر گازها در خاک از پا در می‌آیند.

تبادل گازها با یکدیگر

هرچه ریشه‌های گیاهان و میکروب‌ها با سرعت اکسیژن مصرف کرده و گاز کربنیک آزاد کنند، نیاز به تبادل این گازها بین خاک و نیوار بیشتر می‌باشد. این تبادل به وسیله دو سازوکار تسهیل می‌شود، جریان توده‌ای و انتشار. جریان توده‌ای هوا در تعیین تبادل کلی بسیار کم‌اهمیت‌تر از انتشار می‌باشد. این فرایند به وسیله نوسانات رطوبت خاک، که سبب فشار دادن هوا به داخل و یا خارج خاک است و یا به وسیله باد و تغییرات فشار هوا ارتقاء می‌یابد.

^۱ - Eastern gama grass

^۲ - Spartina marsh grass

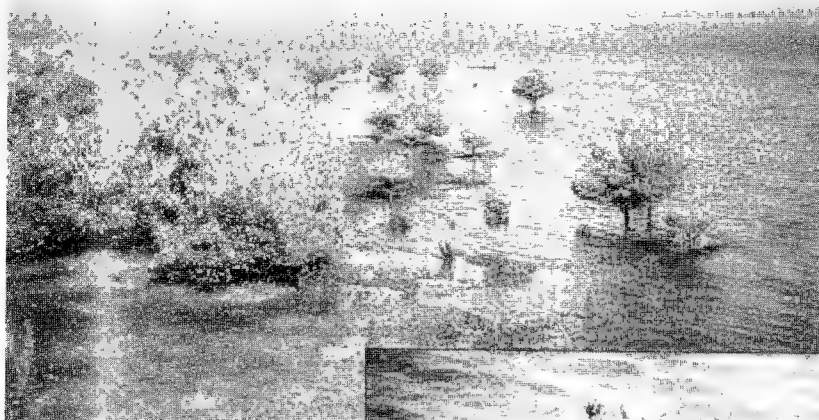
^۳ - Aerenchyma

^۴ - Mangrove

^۵ - Hydrophytic

بخش بزرگی از تبادلات گازی در خاک به صورت انتشار می باشد. طی این فرایند هر گاز در مسیری که به وسیله فشار جزئی آن تعیین می شود حرکت می کند. فشار جزئی هر گاز در یک مخلوط، فشاری است که این گاز در صورت اشغال حجم تمام مخلوط به تنهایی اعمال کند. بنابراین، اگر فشار هوا یک نیوار باشد (نزدیک ۱۰۰ کیلوپاسکال) فشار اکسیژن که ۲۱ درصد حجمی هوا را تشکیل می دهد (۲۱/۰ لیتر در لیتر) حدود ۲۱ کیلوپاسکال است.

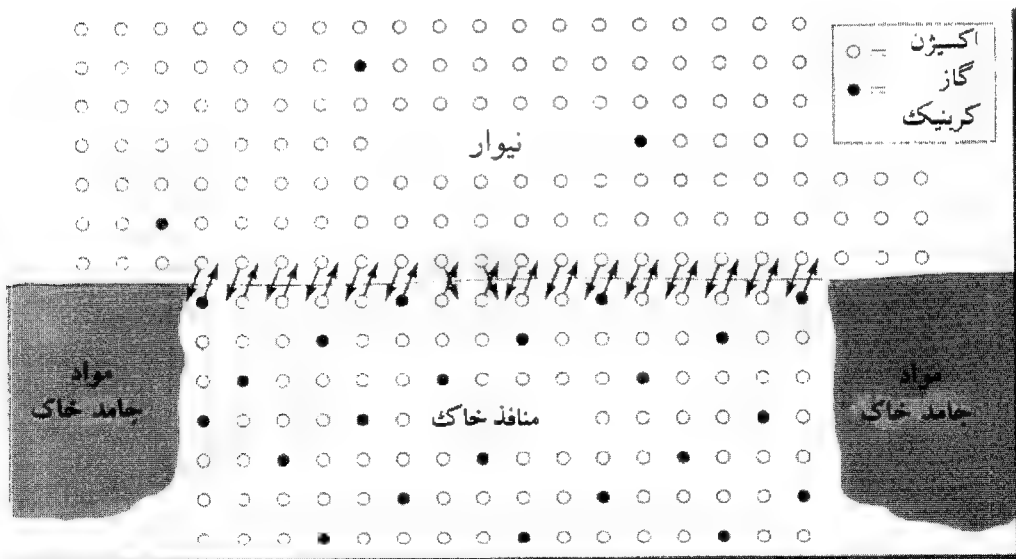
انتشار امکان حرکت زیاد گاز را از یک منطقه به منطقه دیگر، حتی اگر شیب فشار کلی بین مخلوط گازی در دو منطقه وجود نداشته باشد، فراهم می کند. گرچه برای هر گاز به تنهایی شیب غلظت وجود دارد که ممکن است به صورت شیب فشار جزئی بیان شود. در نتیجه ی غلظت بیشتر اکسیژن در نیوار سبب حرکت خالص این گاز خاص به داخل خاک خواهد شد. از آنجاکه غلظت و فشار جزئی گازهای CO_2 و بخار آب در هوای خاک از نیوار بیشتر است در جهت مخالفت با اکسیژن حرکت می کنند. اصول موجود در انتشار در شکل ۳-۷ ارائه شده است.



شکل ۷-۱ گیاهان نسبتاً کمی مانند این درخت حرا در طول ساحل اقیانوس هند قادرند که درخاکهای اشباع از آب، که عملاً از اکسیژن عاری می باشند رشد کنند. حرا در طول مدهای بلند به طور نسبی مستغرق می شود. اما آنها زانوهای در روی ریشه هوایی خود ایجاد کرده اند که آنها را قادر می سازد اکسیژن را مستقیماً از نیوار دریافت دارند. برای بقا در این محیط ابزارهایی در آنها تحول یافته است که می تواند نمک را از آب دریا جدا سازد.



شکل ۲-۷ اکثر نباتات وابسته به خاک برای تأمین اکسیژن لازم برای تنفس ریشه خود می‌باشند. بنابراین در طول ایام خیلی کوتاه اشباع خاک که در آن اکسیژن خاک تخلیه می‌شود به شدت تحت تأثیر قرار می‌گیرند. (سمت چپ) چغندر قند در خاک لوم رسی متراکم وقتی خاک اشباع از آب شده است در حال خشک شدن است. (راست) دوختان سرو در یک خاک شنی که در اثر سیل‌گیری منطقه به وسیله‌ی ایجاد سدهای سگ آبی ماندابی شده است در حال از بین رفتن هستند، جامعه جدیدی از گیاهان که با شرایط ناقص تهویه‌ی خاک تطابق دارند منطقه را به اشتغال در آورده‌اند.



شکل ۳-۷ فرایند انتشار گازها در بین منافذ خاک و نیوار. فشار کلی گاز در دو طرف مرز یکی است فشار جزئی اکسیژن در نیوار بیشتر است. بنابراین، اکسیژن تمایل دارد که به داخل منافذ خاک، که مقدار اکسیژن کمتری در واحد حجم در آنها یافت می‌شود انتشار یابد، مولکول‌های گاز کربنیک، از طرف دیگر به علت فشار جزئی بیشتر این گاز در منافذ خاک، در جهت عکس حرکت می‌کنند. این انتشار O_2 به داخل منافذ خاک و انتشار CO_2 به داخل نیوار تا مادامی‌که تنفس ریشه‌های خاک و ریزجاندانان اکسیژن را مصرف کرده و گاز کربنیک را آزاد می‌کنند، ادامه دارد.

۳-۷ روش‌های مشخص کردن تهویه‌ی خاک

وضعیت تهویه خاک می‌تواند با روش‌های مختلفی مشخص شود که عبارتند از ۱- میزان اکسیژن و سایر گازها در نیوار خاک ۲- تخلخل تهویه‌ای خاک و ۳- پتانسیل اکسید - احیای خاک (ریداکس).

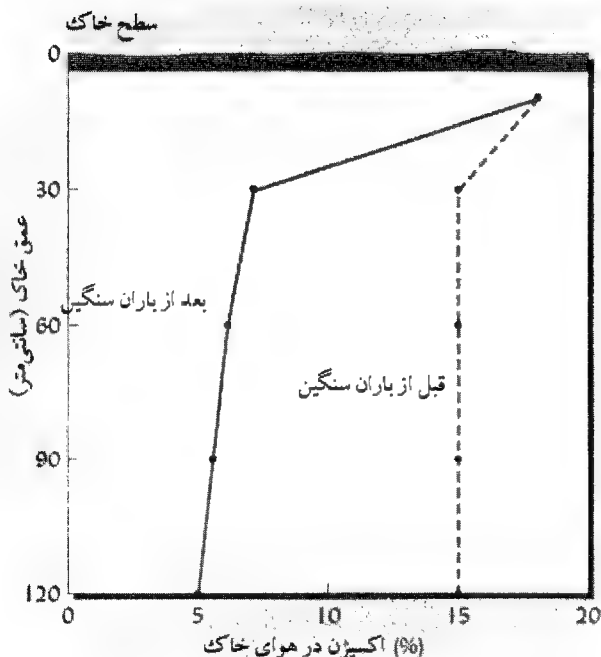
ترکیب گازهای هوای خاک

اکسیژن: نیوار در بالای خاک حدود ۲۱ درصد O_2 ، ۰/۰۳۵ درصد CO_2 و بیشتر از ۷۸ درصد N_2 دارد. درمقایسه، هوای خاک دارای همان مقدار N_2 اما مقدار کمی O_2 و مقدار بیشتری CO_2 می‌باشد. میزان O_2 در لایه‌های فوقانی خاک با ساختمان پایدار و منافذ درشت کمی کمتر از ۲۰ درصد است. این مقدار ممکن است به زیر ۵ درصد در لایه‌های پایین یک خاک با زه‌کشی ضعیف و منافذ درشت اندک و حتی نزدیک صفر برسد. وقتی عرضه‌ی O_2 عملاً تمام گردد، به محیط خاک غبرهوازی اطلاق می‌شود.

میزان اندک O_2 شاخص خاک‌های ماندابی می‌باشد. حتی در خاک‌های دارای تهویه خوب به دنبال یک بارندگی شدید ممکن است کاهش چشم‌گیری در میزان O_2 هوای خاک صورت گیرد. به‌خصوص اگر اکسیژن بر اثر فعالیت گیاهان در حال رشد و یا میکروب‌هایی که به آسانی مواد آلی موجود را تجزیه کنند به سرعت مصرف گردد (شکل ۴-۷). تخلیه اکسیژن بدین‌صورت وقتی خاک گرم باشد خیلی سریع صورت خواهد گرفت.

جای خوشبختی است که آب در بسیاری از خاک‌ها دارای مقادیر اندک، اما معنی‌داری از O_2 حل شده می‌باشد. هنگامی که تمام منافذ خاک به‌وسیله‌ی آب پر شوند، ریزجاندانان می‌توانند اکثر O_2 حل شده در آب را برای مقاصد سوخت‌وساز خارج کنند. این مقدار اندک اکسیژن حل شده به‌زودی به‌مصرف رسیده و اگر آب اضافی برداشت نشود فعالیت‌های میکروبی، و همین‌طور رشد گیاهی دچار صدماتی خواهد شد. گاز کربنیک: از آن‌جاکه میزان N_2 هوای خاک نسبتاً ثابت است. رابطه‌ای عکس بین دو جزء عمده‌ی هوای خاک یعنی O_2 و CO_2 برقرار است. با کاهش O_2 ، CO_2 افزایش می‌یابد. اگرچه اختلافات واقعی در مقدار CO_2 ممکن است زیاد نباشد اما در مقایسه معنی‌دار است. بنابراین اگر هوای خاک دارای ۰/۰۳۵ درصد CO_2 باشد، این گاز ۱۰ برابر نیوار غلیظ‌تر می‌باشد. در مواردی که میزان CO_2 به ۱۰ درصد می‌رسد ممکن است این غلظت برای برخی فرایندهای گیاهی سمی باشد.

سایر گازها: هوای خاک معمولاً از نظر بخار آب بسیار بالاتر از نیوار بوده و به‌استثنای نزدیک سطح زمین (فصل ۷-۵ را مشاهده کنید)، عمدتاً اشباع می‌باشد. همچنین در شرایط ماندابی غلظت گازهایی مانند متان (CH_4) و سولفید هیدروژن (H_2S) که از تجزیه‌ی ماده‌ی آلی تشکیل می‌شوند، به‌مقدار قابل‌ملاحظه‌ای در هوای خاک بیشتر می‌باشند. گاز دیگری که به‌وسیله‌ی سوخت و ساز میکروبی غبرهوازی ساخته می‌شود اتیلن (C_2H_4) است. این گاز مخصوصاً برای ریشه گیاهان حتی در مقدار کمتر از ۱ میکرولیتر در لیتر (۰/۰۰۰۱ درصد) سمی می‌باشد. مشخص شده است که رشد ریشه‌ی تعدادی از نباتات هنگامی که میزان تبادل گاز بین نیوار و خاک پایین است، به‌وسیله‌ی اتیلن محدود می‌گردد.



شکل ۴-۷ میزان اکسیژن هوای خاک قبل و بعد از باران سنگین در خاکی که در آن پنبه کاشته شده بود. آب باران سبب جایگزینی اکثر هوای خاک گردید. مقدار اکسیژن اندک باقیمانده بر اثر تنفس ریشه‌ها و موجودات خاک مصرف گردید میزان گاز کربنیک (نشان داده نشده است) احتمالاً به نسبت افزایش یافت.

تخلخل تهویه‌ای

در فصل ۱ (شکل ۱۷-۱)، به ترکیب مطلوب خاک برای رشد نبات اشاره شد، که شامل مخلوط حدود ۵۰:۵۰ هوا و آب در منافذ خاک و یا حدود ۲۵٪ هوا بر حسب حجمی (با فرض ۵۰ درصد تخلخل کل) می‌باشد. بسیاری از محققین معتقدند در اکثر خاک‌ها فعالیت ریزجانداران و رشد نباتات، وقتی تخلخل تهویه‌ای به زیر ۲۰ درصد تخلخل کل و یا به زیر ۱۰ درصد حجم کل خاک برسد (با میزان آب مربوطه‌ی بیشتر) به شدت محدود می‌شود.

یکی از دلایل عمده که میزان آب زیاد در خاک سبب کاهش اکسیژن برای ریشه می‌شود این است که منافذ پر شده از آب انتشار اکسیژن نیوار را به داخل خاک برای جایگزینی اکسیژن مصرف شده، مسدود می‌کنند. در واقع، اکسیژن در منافذ تهویه‌ای، ده هزار بار سریع‌تر نسبت به منافذ پر شده از آب (منافذ مویینه) انتشار می‌یابد.

۷-۴ پتانسیل اکسایش احیایی (ریداکس) خاک

یکی از ویژگی‌های شیمیایی خاک که در ارتباط با تهویه خاک است، وضعیت اکسایش و احیا عناصر شیمیایی در این خاک‌ها می‌باشد. اگر خاکی دارای تهویه خوب باشد حالت‌های اکسید شده همانند Fe(III) در FeOOH و N(V) در NO₃⁻ (نترات) غالب می‌باشند. در خاک با تهویه ضعیف اشکال احیاء شده عناصر تشکیل می‌گردد، برای مثال Fe(II) در FeO و N(II) در NH₄⁺ (آمونیم)، حضور این اشکال احیاء شده بیانگر زه‌کشی محدود و تهویه ضعیف است.

واکنش‌های اکسایش - احیاء (اکسیداسیون - احیاء)

واکنشی که با تغییر حالت احیای یک عنصر به حالت اکسید شده صورت می‌گیرد ممکن است به وسیله‌ی اکسایش آهن دوظرفیتی (Fe²⁺) و یا FeO(FeII) در آهن سه ظرفیتی (Fe³⁺ یا FeIII) نشان داده شود.



توجه کنید که Fe(II) با تبدیل به Fe(III) یک الکترون را از دست می‌دهد و یون‌های H⁺ در فرایند تشکیل می‌شوند. از دست دادن یک الکترون بیانگر این است که پتانسیل (توان) انتقال الکترون از یک ماده به ماده دیگر وجود دارد، پتانسیل اکسید-احیایی می‌تواند با استفاده از الکترو پلاتین اندازه‌گیری شود.

پتانسیل اکسید-احیایی Eh میزان تمایل یک ماده را برای قبول و یا دادن الکترون به دست می‌دهد. Eh معمولاً بر حسب ولت و میلی‌ولت اندازه‌گیری می‌شود. همان‌طور که در مورد پتانسیل آب (فصل ۳-۵) گفته شد، پتانسیل اکسید-احیایی مربوط به یک حالت مرجع است. در این مورد پتانسیل اکسید-احیایی زوج هیدروژن به صورت قراردادی صفر فرض می‌شود.



اگر ماده‌ای به آسانی الکترون قبول کند، به عنوان عامل اکسیدکننده نامیده می‌شود و اگر ماده‌ای الکترون به آسانی عرضه کند، عامل احیاکننده نام دارد.

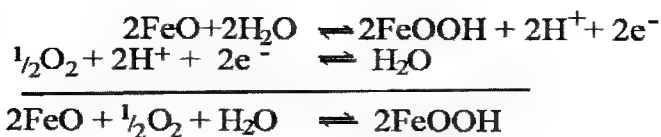
نقش اکسیژن (O₂)

از آنجاکه گاز اکسیژن O₂ از بسیاری از عناصر به سرعت الکترون دریافت می‌دارد نمونه‌ی بسیار مهمی از یک عامل اکسیدکننده می‌باشد. تمام تنفس‌های هوازی نیازمند O₂ به عنوان یک قبول‌کننده الکترونی می‌باشد، مانند موجودات زنده، که سبب اکسید کردن کربن آلی برای آزاد کردن انرژی حیاتی می‌باشد.

اکسیژن می‌تواند هم مواد آلی و هم معدنی را اکسیده کند. در نظر داشته باشید گرچه این عنصر (O₂) سبب اکسایش عنصر دیگر می‌گردد خود در عوض احیاء می‌شود این فرایند احیاء می‌تواند در واکنش زیر مشاهده گردد.

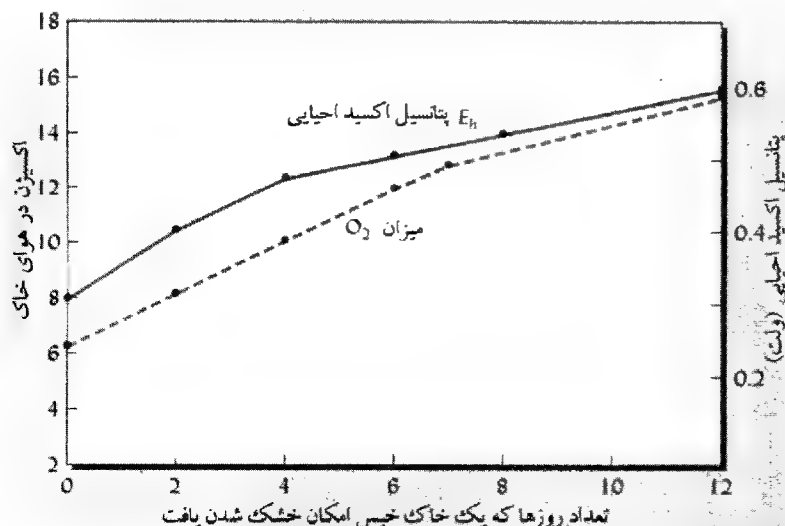


توجه کنید که اتم اکسیژن با بار صفر در O₂ دو الکترون دریافت می‌دارد و بار منفی ۲ را وقتی به صورت بخشی از مولکول آب درمی‌آید به دست می‌آورد، این دو الکترون همان‌طور که در واکنش قبل نشان داده شد، می‌تواند به وسیله‌ی دو مولکول FeO که اکسیده می‌گردد، ارائه شود. اگر دو معادله را با هم ادغام کنیم، می‌توانیم اثر کلی اکسایش و احیا را مشاهده کنیم.



دادن و گرفتن الکترون‌ها (e) و H^+ در هر دو طرف معادله یکدیگر را متعادل کرده، و بنابراین در واکنش ادغام شده دیده نمی‌شوند اما هر دو برای واکنش‌های خاص اکسایش-احیاء (اکسیداسیون-احیاء) خیلی مهم می‌باشند.

پتانسیل اکسید-احیایی Eh یک خاک وابسته به حضور قبول‌کننده‌های الکترون (اکسیژن و دیگر عوامل اکسیدکننده) و pH می‌باشد. رابطه‌ی مثبت در یک خاک بین میزان O_2 هوای خاک و Eh در شکل ۷-۵ نشان داده شده است. در یک خاک با تهویه‌ی مناسب Eh در فاصله ۰/۴ تا ۰/۷ ولت (۷) می‌باشد. با کاهش تهویه وقتی اکسیژن گازی به اتمام می‌رسد Eh کاهش یافته و به میزان ۰/۳ تا ۰/۳۵ ولت می‌رسد، در شرایط ماندابی در خاک‌های گرم غنی از ماده‌ی آلی میزان Eh پایین درحد ۰/۳- ولت می‌تواند یافت گردد.



شکل ۷-۵ رابطه‌ی بین میزان اکسیژن هوای خاک و پتانسیل اکسید-احیایی (Eh). اندازه‌گیری‌ها در عمق ۲۸ سانتیمتر یک خاک، که به‌طور مداوم ۱۴ روز قبل از خشک‌شدن آبیاری گردیده بود انجام شده است. به رابطه‌ی کلی بین این دو عامل توجه کنید.

سایر قبول‌کننده‌های الکترون

سایر عناصر علاوه بر اکسیژن می‌توانند به‌عنوان قبول‌کننده الکترون نهایی (اکسیدکننده) عمل کنند برای نمونه N(V) در نترات وقتی به N(III) احیاء می‌شود، الکترون قبول می‌کند.



واکنش‌های مشابهی در مورد احیاء و یا اکسایش Fe و Mn و S (شکل ۷-۶ را مشاهده کنید) وجود دارد. اثر pH بر پتانسیل اکسید-احیایی در چند واکنش مهم که در خاک صورت می‌گیرد در شکل ۷-۶ نشان داده شده است. توجه کنید که در تمام موارد با افزایش pH از ۲ به ۸، Eh کاهش می‌یابد. از آنجا که هر دو شاخص pH و Eh به آسانی قابل اندازه‌گیری می‌باشند، خیلی مشکل نخواهد بود که معلوم کنیم در خاک مورد نظر واکنش خاص احتمالاً صورت خواهد گرفت. برای مثال در pH ۶ لازم است Eh مقداری کمتر از ۰/۵+ ولت باشد تا سبب احیاء نترات به نیتريت و حدود ۰/۲+ ولت برای احیاء FeOOH به Fe^{2+} گردد. برای تشکیل متان در یک خاک ماندابی در همان pH مقدار ۰/۲- Eh ولت مورد نیاز خواهد بود.

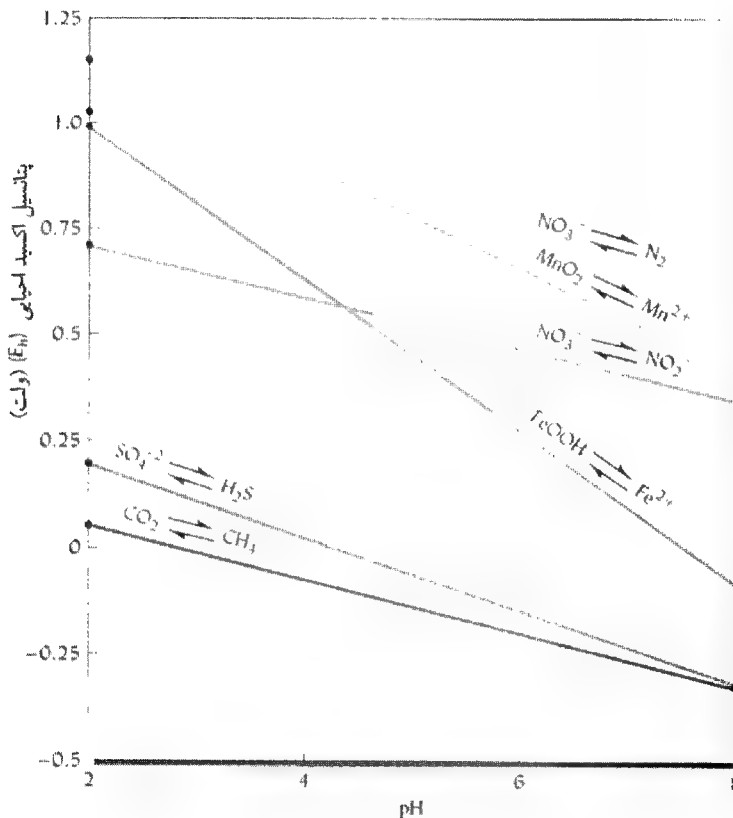
میزان Eh که در آن واکنش‌های اکسایش-احیاء صورت می‌گیرد با ماده‌ی شیمیایی خاص، که باید اکسید و یا احیاء شود، متغیر می‌باشد. در جدول ۷-۱ اشکال اکسید شده و احیاء شده چند عنصر مهم در خاک، همراه با پتانسیل اکسید-احیایی تقریبی که در آن واکنش اکسایش-احیاء صورت می‌گیرد مشخص شده است. مقادیر Eh، توالی وقوع واکنش‌هایی را که وقتی یک خاک دارای تهویه مناسب از آب اشباع می‌شود تشریح می‌کند.

تنفس ابتدا سبب کاهش غلظت O_2 موجود در هوای خاک و حل شده در آب خاک می‌شود. وقتی غلظت این قبول‌کننده‌ی الکترون کاهش می‌یابد، پتانسیل اکسید احیایی کاسته می‌شود. از آن‌جا که Eh در O_2 حدود ۰/۳۸ تا ۰/۳۲ ولت به آب احیاء می‌شود، وقتی پتانسیل

اکسید-احیای خاک به این مقدار برسد، خاک از O_2 تخلیه می‌گردد. در مقادیر Eh پایین‌تر تنها ریزجاندارانی می‌توانند ایفای نقش کنند که عناصر دیگری غیر از اکسیژن را به‌عنوان قبول‌کننده الکترون در سوخت‌وساز خود مصرف کنند.

آسان‌ترین عنصر احیاء شده بعدی N(V) موجود در نترات (NO_3^-) می‌باشد، اگر خاک دارای نترات زیاد باشد. Eh به حدود $-۰/۲۸$ - $۰/۲۲$ ولت با احیاء نترات باقی می‌ماند. وقتی تمام نترات از بین رود ($N(V)$ به $N(III)$ و سایر گونه‌های N تبدیل شود)، Eh بازهم کمتر می‌شود. در این نقطه جاندارانی که قادر به احیاء Mn هستند فعال می‌گردند الی آخر. بنابراین با کاهش مقدار Eh عناصر N و Mn و Fe و S (در SO_4^{2-} و C (در CO_2) الکترون قبول کرده و مطابق ردیف مربوطه در جدول ۱-۷ احیاء می‌شوند.

به عبارت دیگر Eh خاک باید قبل از تولید متان به صفر یا کمتر آورد شود. اما Eh در فاصله $۰/۲۲$ - $۰/۲۸$ ولت برای احیاء نترات به اندازه کافی پایین است. بنابراین تهویه‌ی خاک تعیین‌کننده‌ی گونه‌ی شیمیایی خاص موجود، و همچنین قابلیت استفاده، تحرک و سمیت احتمالی عناصر مختلف در خاک می‌باشد.



شکل ۶-۷ اثر pH برروی پتانسیل اکسید-احیای Eh، که در آن چندین واکنش مهم اکسایش و احیاء در خاک صورت می‌گیرد.

جدول ۱-۷ اشکال اکسید و احیاء شده‌ی عناصر مشخص در خاک و پتانسیل اکسید-احیای (Eh) که در آن تغییر شکل در pH $۶/۵$ انجام می‌گیرد. توجه کنید که اکسیژن گازی در فاصله‌ی Eh $۰/۳۲$ - $۰/۳۸$ ولت تخلیه می‌شود. در Eh پایین‌تر، ریزجانداران از عناصر دیگری غیر از اکسیژن به‌عنوان قبول‌کننده‌ی الکترون در سوخت‌وساز خود استفاده می‌کنند. با دادن الکترون آن‌ها این عناصر را به ظرفیت حالت احیاء تغییر می‌دهند.

شکل اکسید شده	شکل احیاء شده	Eh در آن تغییر شکل صورت می‌گیرد (ولت)
O_2	H_2O	$0.38 - 0.32$
NO_3^-	N_2	$0.28 - 0.22$
Mn^{4+}	Mn^{2+}	$0.22 - 0.18$
Fe^{3+}	Fe^{+2}	$0.11 - 0.08$
SO_4^{2-}	S^{2-}	$-0.14 \text{ تا } -0.17$
CO_2	CH_4	$-0.20 \text{ تا } -0.28$

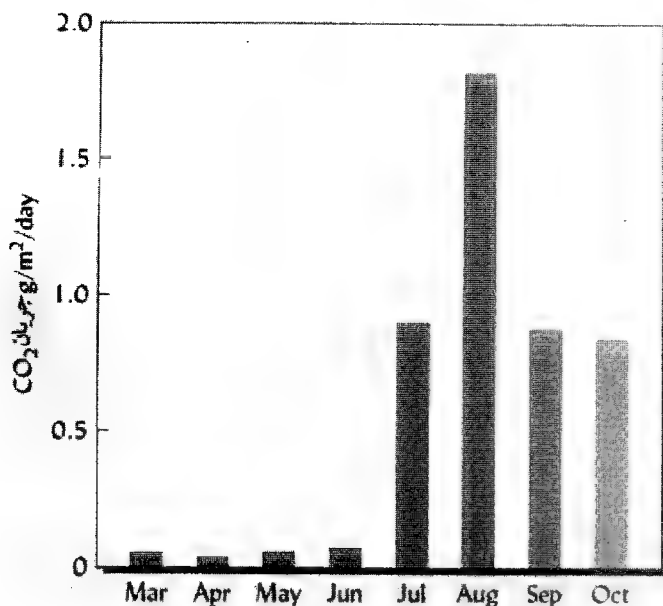
۷-۵ عوامل مؤثر در تهویه خاک

زه‌کشی آب اضافی

زه‌کشی آب ثقیلی به خارج از خاکرخ، و انتشار همزمان هوا به داخل خاک با بیشترین سهولت در منافذ درشت صورت می‌گیرد. مهم‌ترین عوامل مؤثر در تهویه خاک‌های دارای زه‌کشی مناسب عواملی هستند که حجم منافذ درشت خاک را مشخص می‌کنند. مقدار منافذ درشت مشخصاً در حجم کل هوای خاک، و همچنین تبادل گازی و فعل و انفعالات زیستی خاک تأثیرگذار است. بافت خاک، وزن مخصوص ظاهری، ثبات خاکدانه‌ها و میزان ماده‌ی آلی و تشکیل منافذ زیستی جزء خصوصیات از خاک می‌باشند که برای تعیین میزان خلل و فرج درشت، و در نتیجه تهویه خاک نقش دارند.

میزان تنفس در خاک

غلظت هردو گاز اکسیژن و گازکربنیک، مشخصاً تحت تأثیر تجزیه‌ی میکروبی بقایای آلی می‌باشند. مخلوط کردن مقادیر زیادی کود آلی، پس‌مانده‌های گیاهی و لجن فاضلاب ممکن است به‌طور قابل ملاحظه‌ای در ترکیب هوای خاک تغییر ایجاد کند. به‌همین ترتیب چرخه‌ی پس‌مانده‌های گیاهی بر اثر ریزش برگ. تجزیه‌ی توده ریشه و ترشحات ریشه در بوم‌سامان‌های طبیعی مباد لازم را برای فعالیت میکروبی را فراهم می‌کنند، همچنین تنفس به‌وسیله‌ی ریشه نبات و تنفس ارتقاء یافته به وسیله‌ی جانداران در نزدیکی ریشه‌ها فرایندهای مهمی می‌باشند (شکل ۷-۷). تمام این فرایندها با افزایش دما به مقدار بسیار زیادی ارتقاء پیدا می‌کنند (بخش ۹-۷ را مشاهده کنید).



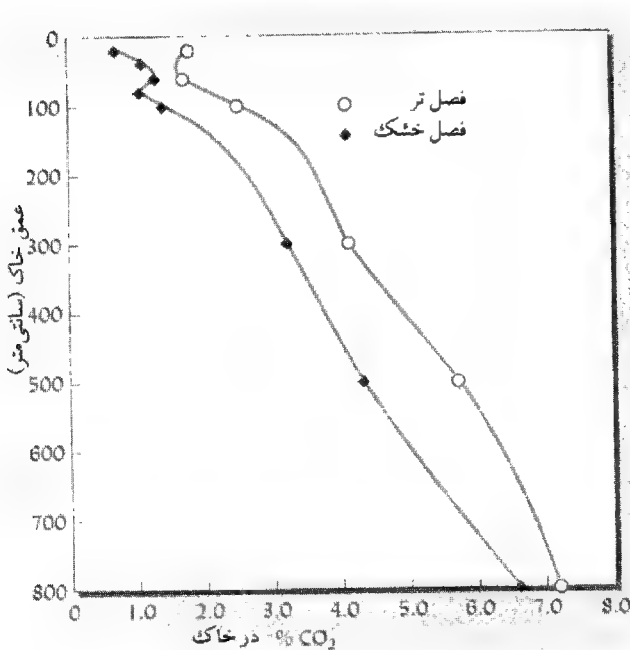
شکل ۷-۷ میزان حرکت CO₂ (شدت جریان) از سطح یک خاک در بوم‌سامان جنگل سخت چوب شمالی در نیویورک. به‌شدت جریان بالا از ژوئیه تا اکتبر، وقتی رشد گیاهی و فعالیت میکروبی در بیشترین مقدار است، توجه کنید.

خاک زیر در مقایسه با خاک سطح

خاک زیر معمولاً دارای کمبود بیشتر اکسیژن در مقایسه با خاک سطح می‌باشد. نه تنها میزان آب آن معمولاً زیادتر (در اقلیم مرطوب)، بلکه حجم کل منافذ و همین‌طور حجم منافذ درشت در لایه‌های زیر کمتر است. به‌علاوه، مسیر انتشار گازها به داخل و خارج خاک برای افق‌های عمیق طولانی‌تر می‌باشد. هرچند اگر عرضه‌ی مواد آلی در خاک زیر کم باشد، ممکن است هنوز دارای حالت هوایی باشد. به این دلیل در خاک‌های تازه غرقاب شده، در ۵۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متری فوقانی حالت غیرهوازی وجود داشته و در عمق بیشتر هوازی می‌باشد. در بعضی مناطق جنگلی و در باغ‌های میوه، ریشه‌ی درختان به‌داخل لایه‌های زیرین با میزان اکسیژن اندک و گازکربنیک زیاد به‌خصوص اگر خاک رسی باشد، توسعه می‌یابد. میزان گازکربنیک در حدود ۱۵٪ (۱۵۰ میلی‌لیتر در لیتر) در بعضی از این خاک‌های تحت‌الارضی مشاهده شده است. مطالعات در خاک‌های عمیق خیلی هوا دیده در زیر جنگل‌های بارانی گرمسیری بیانگر این است که همراه با انجام تنفس غلظت گازکربنیک تا عمیق‌ترین لایه تحت‌الارضی، به افزایش ادامه خواهد داد (شکل ۸-۷).

ناهمگنی خاک

خاک‌رخ: همان‌طور که از شکل ۳-۷ و ۸-۷ مشاهده می‌شود، وضعیت تهویه در مناطق مختلف خاک بسیار متغیر می‌باشد. در خاک‌های دارای زه‌کشی خوب و با یکنواختی تقریباً یکسان، روند بیانگر کاهش O_2 و افزایش CO_2 با افزایش عمق در خاک‌رخ است. هرچند، مناطق دارای تهویه ناقص در هر افقی از خاک دارای زه‌کشی و تهویه خوب ممکن است یافت گردد. خاک‌ورزی: یکی از علل ناهمگنی خاک، خاک‌ورزی است که دارای اثرات کوتاه مدت و طولانی‌مدت بر تهویه خاک می‌باشد. در کوتاه‌مدت، به‌هم‌زدن خاک اغلب سبب خشک‌شدن سریع‌تر آن و مخلوط‌کردن مقادیر بیشتری هوا با خاک می‌شود، این اثرات به‌ویژه در خاک‌های تقریباً متراکم با بافت ریز، عکس‌العمل سریع رشد گیاه بلافاصله پس از زدن هرس برای دفع علف‌های هرز و یا در شیار قراردادن^۱ کودشیمیایی آشکار است. هرچند در طولانی‌مدت، عملیات خاک‌ورزی ممکن است سبب کاهش تخلخل درشت گردد (بخش ۶-۴ را مطالعه کنید).



شکل ۸-۷ تغییرات در غلظت هوای خاک در ارتباط با عمق خاک‌رخ در یک خاک هاپلوستوکس^۲ در جنگل بارانی گرمسیر در منطقه آمازون برزیل. منبع ایجاد CO_2 احتمالاً ترکیبی از تنفس ریشه نباتات و میکروب‌ها بود. گرچه بالاترین میزان تولید CO_2 در لایه‌های فوقانی خاک بود، گاز تولیدشده در آن‌جا فاصله‌ی کوتاهی برای رسیدن به نیوار داشت چه، دارای منافذ درشتی برای انتشار در داخل خاک بود. غلظت CO_2 با افزایش عمق افزایش یافته زیرا فاصله بیشتر انتشار به نیوار و تخلخل درشت بسیار کمتر در عمق سبب حرکت کند گازها و تمرکز CO_2 گردید.

منافذ درشت: مناطقی با تهویه ناقص ممکن است در یک خاک بافت سنگین، و یا لایه متراکم خاک حاصل گردد و یا ممکن است به‌طور ساده در داخل واحدهای خاک (واحدهای ساختمانی) قرار داشته، و ریزبودن منافذ سبب محدودیت تبادل آسان هوا گردد (شکل ۹-۷). در خاک‌ها با زه‌کشی خوب، منافذ درشت (شیارها) بین واحدهای خاک و ریشه راه‌های قدیمی در خاک تحت‌الارضی ممکن است به‌طور متناوب از آب پر شده، و سبب ایجاد مناطقی با تهویه ضعیف گردد. در خاک‌های اشباع این منافذ درشت ممکن است اثرات برعکس داشته باشند، زیرا آن‌ها انتشار O_2 را به‌داخل خاک در طول ایام خشک شدن تسهیل می‌کنند.

ریشه نباتات: به‌همین ترتیب، ریشه گیاهان در حال رشد ممکن است بلافاصله در پیرامون خود سبب کاهش و یا افزایش غلظت O_2 گردند، در خاک با زه‌کشی نسبتاً ضعیف تنفس نباتات در اراضی مرتفع ممکن است O_2 را از خاک مجاور تخلیه کند (همان‌طور که در تابلو شماره ۱۹ رنگی دیده می‌شود). برعکس، گیاهان آب‌دوست دارای بافت ارانشیم^۳ ممکن است O_2 اضافه را به ریشه خود انتقال دهند و امکان انتشار بعضی از آن‌ها به داخل خاک و ایجاد یک منطقه اکسایش در خاک غیرهوازی فراهم کنند (تابلو شماره‌ی ۲۰ رنگی را مشاهده کنید). با این دلایل ممکن است واکنش‌های اکسایش در فاصله‌ی چند سانتی‌متری و یا میلی‌متری از سایر مناطق دارای شرایط احیاء صورت گیرد. این ناهمگنی در تهویه خاک را باید در تلاش برای فهم نقش خاک در چرخه‌ی عناصر، و تأثیر بر بوم‌سامان در خاطر داشته باشیم.

^۱ - Knife in

^۲ - Haplustox

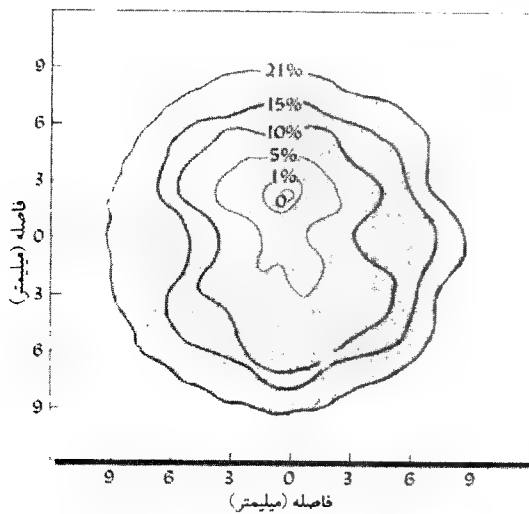
^۳ - Aerenchyma

اختلافات فصلی

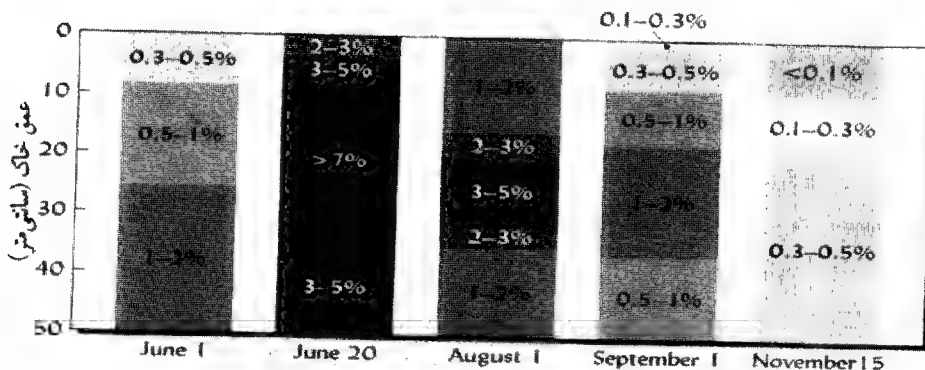
تغیرات مشخصی در ترکیب هوای خاک وجود دارد. در ایام بهار در مناطق مرطوب خاک‌ها معمولاً خیس و سرد بوده و امکان تبادل گازی ضعیف است اما به دلیل دمای پایین خاک، تنفس ریشه گیاهان و زیواچه‌های خاک محدود می‌باشد. بنابراین استفاده از اکسیژن و آزادشدن گازکربنیک نیز محدود است. در ماه‌های تابستان میزان رطوبت خاک پایین است و امکان تبادل گازی افزایش می‌یابد. هرچند دمای بسیار مناسب سبب تقویت تنفس شدیدتر ریشه‌ها و ریزجانداران (تجزیه‌ی پس‌مانده‌های گیاهی) و آزادشدن مقادیری قابل‌توجهی گازکربنیک می‌شود. این مطلب در شکل ۷-۱۰، که مقدار گاز اکسید کربن را در یک خاک الفی‌سول در ایالت میسوری در طول رشد ذرت و بعدها در اول زمستان نشان می‌دهد، تشریح شده است.

اثرات پوشش گیاهی

علاوه بر اثرات تنفس ریشه‌ی نباتات که قبلاً اشاره شد، پوشش گیاهی ممکن است با برداشت مقادیر زیاد آب طی فرایند تعرق بر تهویه خاک تأثیر گذارد، به‌طوری‌که سبب پایین‌بردن سطح آب زیرزمینی در بعضی از خاک‌های دارای زه‌کشی ناقص گردد. اطلاعات موجود در جدول ۷-۲ این تأثیر را در جنگل کاج نشان داده است. اثرات عمق خاک و فصل نیز آشکار است.



شکل ۷-۹ نقشه‌ای که میزان اکسیژن هوای خاک را در یک واحد ساختمانی خیس در خاک اکویک هاپلودول^۱ (لوم رسی سیلتی موسکاتین) در ایالت آیووا نشان می‌دهد. اندازه‌گیری‌ها با یک ریز الکترود منحصربه‌فرد انجام گرفت. توجه کنید که میزان اکسیژن نزدیک مرکز کلوخه صفر، و درحالی‌که نزدیک حاشیه ۲۱ درصد است. بنابراین، محدوده‌هایی از کمبود اکسیژن در یک خاک که میزان اکسیژن کل آن پایین نیست می‌تواند یافت گردد.



شکل ۷-۱۰ تغییرات فصلی در میزان گازکربنیک در ۵۰ سانتی‌متری یک خاک الفی‌سول در میسوری که در آن از اوایل می تا اول سپتامبر ذرت کشت شده بود. در ۲۰ ژوئن ذرت در شدیدترین حالت رشد بود. میزان رطوبت هنوز بالا و میزان CO_2 در عمق ۱۰-۳۰ سانتی‌متر به بیش از ۷ درصد رسید. در اول اوت تبادل گازها احتمالاً افزایش یافته و میزان CO_2 به ۳-۵ درصد در عمق ۳۰-۲۰ سانتی‌متر رسید گرچه همین میزان ۱۰۰ برابر غلظت CO_2 نیوار است. در ۱۵ نوامبر فعالیت نبات و زیواچه‌های خاک به دلیل دمای پایین کاهش یافت و میزان CO_2 در پایین ۲۰ سانتی‌متر خاک فقط ۱۰ برابر نیوار بود

^۱ - Aquic Hapludoll (Muscatine silty clay loam)

و منگنز ترجیح داده می‌شوند. در خاک‌های خثی و یا قلیایی مناطق خشک، اشکال احیاء شده‌ی آهن و منگنز در ترکیبات بسیار نامحلول نگهداری شده و کمبود این عناصر را به بار می‌آورند. این اختلافات تعامل تهویه و pH خاک را در تأمین عناصر قابل‌استفاده‌ی نبات تشریح می‌کند (فصل ۱۵ را مشاهده کنید).

سایر عناصر: پتانسیل اکسید-احیایی، گونه‌های عناصر سمی مانند کرم، ارسنیک و سلنیم را مشخص کرده و اثر آن‌ها بر محیط‌زیست و زنجیره‌ی غذایی به‌طور آشکار مؤثر می‌باشد (بخش ۱۸-۷ را مشاهده کنید).

رنگ خاک: همان‌طور که در بخش ۱۸-۴ تشریح گردید، رنگ خاک به‌طور آشکار تحت تأثیر حالت اکسایش آهن و منگنز می‌باشد. رنگ‌هایی مانند قرمز، زرد و قهوه‌ای مایل به قرمز از خصوصیات خاک‌های دارای اکسایش مناسب است. بعضی از رنگ‌های آرام مانند خاکستری و آبی، چنان‌چه اکسیژن ناکافی باشد، غالب خواهند بود. رنگ خاک می‌تواند در روش‌های صحرایی برای تعیین حالت زه‌کشی اراضی مورد استفاده قرار گیرد. خاک‌های دارای زه‌کشی ناقص با توجه به رگه‌های متناوب مواد اکسیدشده و یا احیاءشده مشخص می‌شوند (تابلوهای ۱۵ و ۱۸ را مشاهده کنید). این شرایط ماتلینگ^۱ بیانگر محدودی‌ی دارای تناوب تهویه خوب و بد می‌باشد. این شرایط برای رشد مناسب نباتات مطلوب نیستند.

تولید متان: تولید ترکیب آلی متان در خاک‌های مستغرق دارای اهمیت جهانی می‌باشد، زیرا این گاز یکی از عوامل تأثیرگذار بر اثرات گلخانه‌ای گرم‌شدن کره‌ی زمین است (بخش ۱۱-۲ را مشاهده کنید) و غلظت سالانه‌ی آن به مقدار یک درصد از سال ۱۹۸۰ افزایش یافته است. گاز متان از احیاء گازکربنیک به دست می‌آید و تشکیل آن وقتی صورت می‌گیرد که Eh به مقدار ۲۰- و پتانسیل نزل یابد، شرطی که در اراضی باتلاقی و شالیزارها معمول است. برآورد می‌شود که اراضی باتلاقی در آمریکا سالانه ۱۰۰ میلیون تن متریک متان تولید می‌کنند. به‌دلیل توان تولید زیستی و تنوع این محیط‌ها (بخش ۸-۷ را مشاهده کنید)، دانشمندان خاک درصدد یافتن روش‌هایی برای مدیریت آزادشدن متان بدون انجام زه‌کشی در این اراضی باتلاقی می‌باشند.

اثر تهویه بر فعالیت گیاهان عالی

گیاهان عالی از سه طریق تحت تأثیر زیان‌بار تهویه ضعیف قرار خواهند گرفت (۱) محدودشدن رشد نبات به‌خصوص ریشه‌ها (۲) کاهش جذب آب و مواد غذایی (۳) ایجاد شرایط مساعد برای تشکیل ترکیبات معدنی سمی برای رشد گیاهان، همان‌طور که در بخش قبل تشریح گردید

رشد نبات: گونه‌های مختلف نباتی دارای توانایی متفاوتی در مقابله با تهویه‌ی ضعیف می‌باشند (جدول ۴-۷). چغندر قند و جو برای نمونه نیازمند تهویه بالایی برای حداکثر رشد می‌باشند (شکل ۲-۷ الف را مشاهده کنید). در مقابل شبدر لادینو^۲ و علف قناری^۳ می‌تواند با تهویه بسیار کم رشد کنند. برنج و توت حواصیل^۴ درحالی که ریشه‌های آن‌ها در آب مستغرق می‌باشند می‌توانند رشد کنند.

مقاومت یک نبات خاص به تهویه ضعیف ممکن است برای گیاهچه‌ها درمقایسه با بوته‌های درحال رشد متفاوت باشد. نمونه‌ای از این مورد، مقاومت کاج قرمز به زه‌کشی محدود در هنگام رشد اولیه آن، و رشد ضعیف و حتی مرگ آن در همان محل در مراحل بعدی رشد می‌باشد (شکل ۲-۷ ب را مشاهده کنید).

جدول ۳-۷ اشکال اکسید و احیاء شده چند عنصر مهم

عنصر	شکل معمول در خاک‌ها با اکسایش مطلوب	شکل احیاء شده در خاک‌های ماندابی
C	CO ₂ , C ₆ H ₁₂ O ₆	CH ₄ , C ₂ H ₄ , CH ₃ CH ₂ OH
N	NO ³⁻	N ₂ , NH ₄
S	SO ₄ ²⁻	H ₂ S, S ²⁻
Fe	Fe ³⁺ [اکسیدهای (III) Fe]	Fe ²⁺ [اکسیدهای (II) Fe]
Mn	Mn ⁴⁺ [اکسیدهای (IV) Mn]	Mn ²⁺ [اکسیدهای (II) Mn]

¹ - Mottled condition

² - Ladino clover

³ - Reed canary grass

⁴ - Crane berries

دانستن مقاومت نباتات به تهویه ضعیف در انتخاب گونه‌های مناسب نباتی برای ایجاد پوشش دوباره در اراضی باتلاقی مفید بوده و حضور نبات تطابق یافته به‌طوراکخص با شرایط غیرهوازی برای مشخص کردن مناطق مرطوب نیز مفید می‌باشند.

جذب آب و مواد غذایی: میزان O_2 پایین سبب محدودیت تنفس ریشه می‌شود، فرایندی که انرژی لازم را برای جذب آب و مواد غذایی فراهم می‌آورد. در نتیجه مشاهده شده است، ماندابی بودن بیش از حد در نقاط پست در بعضی مواقع سبب پژمردگی نبات و کاهش جذب آب به وسیله آن‌ها می‌شود، به همین طریق، گیاهان ممکن است در اراضی دارای تهویه ضعیف علایم کمبود عناصر غذایی را، حتی در صورت تأمین مناسب این عناصر، از خود بروز دهند.

تراکم خاک و تهویه: تراکم خاک سبب کاهش تبادل گازها می‌شود، اگرچه اثرات منفی تراکم خاک تماماً مربوط به تهویه ضعیف نمی‌باشند. لایه‌های خاک ممکن است چنان متراکم گردند که از رشد ریشه‌های گیاهان، حتی در صورت تأمین اکسیژن کافی، ممانعت کنند (بخش ۵-۵ را مشاهده کنید).

جدول ۴-۷ نمونه‌هایی از گیاهان با درجات مقاومت متفاوت به سطح آب زیرزمینی بالا و تهویه ضعیف همراه با آن. گیاهان در ستون آخری سمت راست معمولاً در اراضی باتلاقی زنده می‌مانند. گیاهان در ستون آخری سمت چپ به تهویه ضعیف بسیار حساس می‌باشند.

گیاهانی با عمق آب زیرزمینی ذکر شده سازگاری یافته‌اند.				
کمتر از ۱۰ سانتی‌متر	۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متر	۴۰ تا ۶۰ سانتی‌متر	۷۵ تا ۹۰ سانتی‌متر	بیشتر از ۱۰۰ سانتی‌متر
۱-سرو کچل	۱۷-شبدر السیک	۲۷-سه پر پنجه پرنده	۳۸-راش	۴۶-اریوبروبت
۲-کاج سیاه نوئل	۱۸-بیدسیاه	۲۸-آفاقبای سیاه	۳۹-غان	۴۷-جو
۳-لولولی معمولی	۱۹-درخت پنبه	۲۹-علف آبی	۴۰-کلم	۴۸-لوبیا
۴-توت حواصیل	۲۰-زبان گوزن	۳۰-لیندن	۴۱-ذرت	۴۹-گیلاس
۵-علف غاز	۲۱-علف بلند شرقی	۳۱-توت سفید	۴۲-خلر پرکرک	۵۰-شوکران
۶-علف نی	۲۲-شبدر لادینو	۳۲-خردل	۴۳-ارزن	۵۱-چاودار
۷-نیشکر بکر	۲۳-کاج لابلالی	۳۳-افرای قرمز	۴۴-نخود	۵۲-هلو
۸-حرا	۲۴-علف باغ	۳۴-قیاق	۴۵-بلوط قرمز	۵۳-علف شن دوست
۹-گیاه ملاقه ای	۲۵-علف سر قرمز	۳۵-افرای مردابی	۵۴-چغندر قند	۵۵-گردو
۱۰-علف قناری قرمز	۲۶-فستوکا بلند	۳۶-علف گریه‌دوست	۵۶-گندم	۵۷-کاج سفید
۱۱-برنج		۳۷-بلوط بیدی		
۱۲-کلم راسو				
۱۳-علف اسپارتین				
۱۴-بلوط سفید باتلاق				
۱۵-ختمی سرخ مرداب				
۱۶-سقز سیاه				
1)BALD CYPRESS 2)BLACK SPRUCE 3)COMMON CATTAIL 4)CRANBERRIES 5)DUCKGRASS 6)FRAGMITES GRASS 7)MAIDEN CANE 8)MANGROVE 9)PITCHER PLANT 10)REED CANARY GRASS 11)RICE 12)SKUNK CABBAGE 13)SPARTINA GRASS 14)SWAMP WHITE OAK 15)SWAMPROSEMALOW 16)WATER TUPELO 17)ALSIKE CLOVER 18)BLACK WILLOW 19)COTTON WOOD 20)DEER TONGUE 21)EASTERN GAMMA GRASS 22)LADINO CLOVER 23)LOBLLOLY PINE 24)ORCHARD GRASS 25)RED TOP GRASS 26)TALL FESCUE 27)BIRDFOOT TREFOIL 28)BLACK LOCUST 29)BLUE GRASS 30)LINDEN 31)MULBERRY 32)MUSTARD 33)RED MAPPLE 34)SORGHUM 35)SYCAMORE 36)WEEPING LOVE GRASS 37)WILLOW OAK 38)BEECH 39)BIRCH 40)CABBAGE 41)CORN 42)HAIRY VETEH 43)MILLET 44)PEAS 45)RED OAK 46)ARBORVITE 47)BARLEY 48)BEANS 49)CHERRY 50)HEMLOCK 51)OAT 52)PEAEH 53)SAND LOVE GRASS 54)SUGAR BEET 55)WALNUT 56)WHEAT 57)WHITE PINE				

۷-۷ رابطه‌ی تهویه با مدیریت خاک و نبات

هر دو نوع، زه‌کشی سطحی و زیرزمینی برای حفظ شرایط هوازی اساسی می‌باشند (بخش ۹-۶ را مشاهده کنید). در شرایط آبیاری و در گیاهان گلدانی آب‌دادن بیش از اندازه که سبب تهویه ضعیف می‌گردد از مسایل بسیار معمولی است که با آن روبرو می‌باشیم.

ساختمان خاک و کشت و کار

نگهداری ساختمان پایدار در خاک یکی از راه‌های مهم تقویت تهویه‌ی خوب می‌باشد. منافذ درشت که در اثر خاکدانه‌های پایدار ایجاد می‌شوند به دنبال یک باران از آب زه‌کشی تخلیه می‌شوند. بنابراین، امکان حرکت گازها را از نیوار به داخل خاک فراهم می‌سازند. در اراضی زراعی، حفظ مواد آلی با اضافه کردن کود حیوانی و پس‌مانده‌های گیاهی و با رشد گیاهان متراکم چمنی و خانواده بقولات شاید عملی‌ترین راه برای ایجاد پایداری خاکدانه‌ها باشد که به نوبه خود سبب زه‌کشی خوب و تهویه‌ی بهتر می‌شود. گرچه در خاک‌های دارای بافت سنگین و با زه‌کشی ضعیف حفظ تهویه‌ی بهینه اغلب بدون انجام بعضی عملیات شخم و شیار غیرممکن می‌باشد. کشت و کار با نظام بدون عملیات خاک‌ورزی که برای ۵ تا ۱۰ سال استقرار یافته باشد، دارای حفرات پیوسته گرم‌های خاکی و ریشه‌راه‌ها به مقدار کافی برای کمک فراوان به زه‌کشی خاک می‌باشد. هرچند ممکن است خاک‌پوش بقایای سطحی بتخیر آب را در بهار کاهش داده، و سبب ایجاد خاک‌های سرد و مرطوب نامناسب در زمان کشت گردند (بخش ۱۲-۷ را مشاهده فرمایید).

گیاهان کشت شده در ظروف

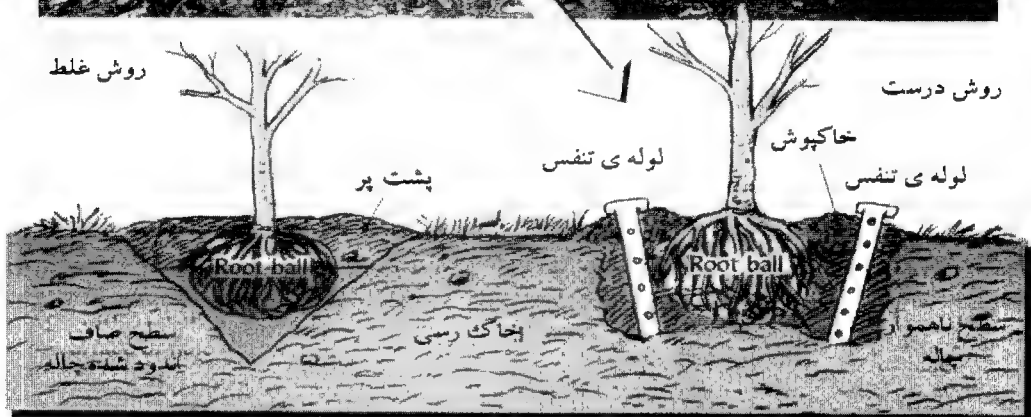
گیاهان گلدانی معمولاً به دلیل مشکلات تأمین دقیق میزان آب مورد نیاز گیاه اغلب با مسأله‌ی ماندابی شدن مواجه می‌باشند. برای جلوگیری از ماندابی شدن اغلب ظروف دارای منافذی در ته برای تخلیه آب اضافی می‌باشند. همان‌طور که در مورد خاک‌های مطابق گفته شد آب از منافذ انتهایی گلدان فقط زمانی زه‌کشی می‌شود که خاک از آب اشباع باشد. اگر خاک گلدان عمده‌تاً از خاک‌های معدنی پر شده باشد، منافذ ریز خاک مملو از آب باقی می‌مانند، و جایی برای هوا باقی نمی‌گذارند، و شرایط غیرهوازی به زودی غالب می‌شود. استفاده از ظروف بلندتر امکان تهویه‌ی بهتر را در بخش بالایی خاک فراهم می‌کند.

برای مدیریت این مسائل خاک‌های مخلوط گلدانی چنان تهیه می‌شوند که نیازمندی‌های گیاهان گلدانی را برطرف کنند. خاک‌های معدنی معمولاً بیشتر از $\frac{1}{3}$ حجم را در اکثر مخلوط‌های گلدانی شامل نمی‌شود. بقیه مخلوط گلدانی شامل مواد دانه درشت سبک وزن خشتی مانند پرلیت (شیشه‌های آتشفشانی منبسط شده) ورمی‌کولیت (میکای انبساط یافته - نه ورمی‌کولیت خاک) و یا سنگ‌پا (سنگ متخلخل آتشفشانی) می‌باشند. مخلوط‌های نوین همچنین شامل بعضی مواد آلی پایدار مانند پیت پوست شرحه شرحه درختان، قطعات چوب و یا کمپوست می‌باشند که سبب نگهداری آب و همچنین ایجاد منافذ درشت می‌گردند.

مدیریت درختان و چمن

در نشاکاری یک نهال جوان و یا هر گونه درختی باید دقت خاص برای جلوگیری از غرقاب شدن اطراف ریشه نبات به عمل آید. شکل ۱۱-۷ راه درست و غلط را برای مدیریت نشاء درختان در خاک‌های متراکم نشان می‌دهد.

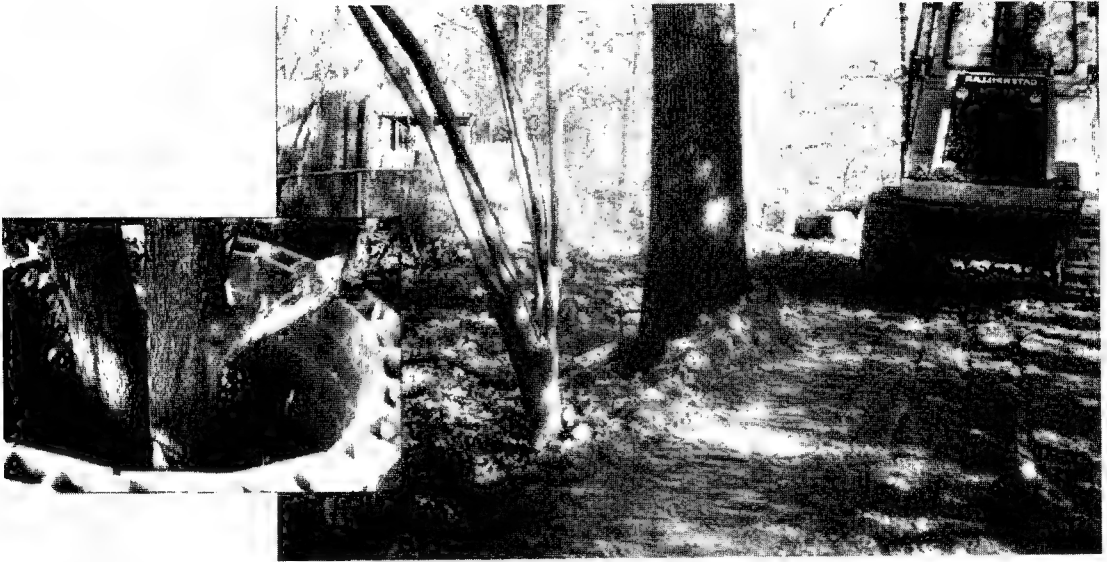
تهویه در درختان بالغ خوب استقرار یافته نیز باید محافظت گردد، اگر خاک اضافی حاصل از حفاری‌های نزدیک در اطراف تنه اصلی یک درخت ریخته شود، پی‌آمدهای ناگواری به زودی آشکار خواهند شد (شکل ۱۲-۷). ریشه‌های غذا دهنده، نزدیک سطح خاک اصلی به زودی با کمبود اکسیژن مواجه خواهند شد، حتی اگر عمق خاک ریخته شده بیشتر از ۵ و یا ۱۰ سانتی متر نباشد. ایجاد دیواره‌های آجری (همانند چاه خشک) در اطراف تنه اصلی قبل از شروع عملیات تسطیح سبب حفظ سطح اصلی خاک به مقدار کافی گردیده و امکان دستیابی ریشه‌ها را به O_2 مورد نیاز فراهم و سبب حفظ درخت می‌شود. نظام‌های مدیریتی برای چمن‌های پرفرت و آمد شامل عملیاتی در ارتباط با تهویه خاک می‌باشند. برای مثال یکی از راه‌های افزایش تهویه در مناطق دارای چمن‌های فشرده، شخم و شیار مغزه‌ای است که در واقع تکه‌هایی از خاک چمن در لایه سطحی برداشت شده و امکان تبادل گازی را به آسانی فراهم می‌کند (شکل ۱۳-۷ را مشاهده کنید). باید توجه داشت که نباید تنها با فشار سوراخ‌هایی در زمین ایجاد شود، زیرا در این صورت سبب ایجاد تراکم در محل کار وسیله حفاری خواهد شد.



شکل ۷-۱۱ تأمین تهویه ی خوب برای ریشه درختان می تواند مخصوصاً هنگامی که درختان در خاک های ریز بافت متراکم شهری کشت شده باشند، دشوار است. ماشین یک حفره با دیواره های صاف ایجاد می کند که همانند فنجان چای می باشد که پر از آب شده و سبب خفه گی ریشه درختان می گردد. لوله های تنفسی و حفره های بزرگ ناهموار و یک لایه از خاک پوش که در آن ریشه های ریز درخت می تواند رشد کند، روش هایی است که ممکن است حالت تهویه ی ریشه ی درخت را بهبود بخشد.

۷-۸ اراضی باتلاقی و خاک های آن ها با تهویه ضعیف

زمین هایی با تهویه ضعیف اراضی باتلاقی نامیده می شوند و حدوداً ۱۴٪ اراضی یخ نزده جهان را تشکیل می دهند، گسترده ترین این اراضی در مناطق سرد کانادا، آلاسکا و روسیه قرار دارند (جدول ۷-۵). در قاره آمریکا امروزه حدود ۴۰۰ هزار کیلومتر مربع از این اراضی وجود دارند، که برآورد می شود نصف مساحت این اراضی هنگام اسکان اروپاییان باشد. اکثر هدررفت اراضی باتلاقی زمانی صورت گرفت که زارعین از زه کشی مصنوعی برای تبدیل آن ها به اراضی کشاورزی استفاده کردند (بخش ۹-۶ را مشاهده کنید). این فرایند تبدیل با همکاری بعضی از همین سازمان های دولتی (مانند مهندسين ارتش آمریکا و وزارت کشاورزی آمریکا) انجام گرفت که در حال حاضر برای حفاظت این اراضی باتلاقی از خسارت هر چه بیشتر در حال تلاشند. در دهه های اخیر، پر کردن گودی ها و زه کشی برای توسعه ی مناطق شهری دست درازی بیشتری به اراضی باتلاقی کرده اند. از آن جاکه هوشیاری زیست محیطی در جوامع نوین به یک نیرو تبدیل شده است، حفاظت اراضی باتلاقی به یک مسئله مهم تبدیل گردیده، و میزان هدررفت اراضی باتلاقی کاهش یافته است.



شکل ۷-۱۲ حفاظت درختان با ارزش در انجام عملیات زیباسازی فضای سبز: اگر حتی یک لایه نازک خاک بر روی شبکه‌ی ریشه درخت موردنظر پخش شده باشد می‌تواند سبب خفه‌گی ریشه‌ها و مرگ درخت گردد. (عکس داخل) برای حفظ سطح زمین اصلی به‌طوری‌که ریشه‌های تغذیه‌کننده بتوانند اکسیژن کافی به‌دست آورند، یک چاه خشک با آجر و یا هر نوع مصالح تزئینی دیگر ساخته می‌شود. این چاه خشک ممکن است در طراحی نهایی چشم‌انداز منظور گردیده، و یا هر سال به مقدار چند سانتی‌متر پر گردد.



شکل ۷-۱۳ یک وسیله برای افزایش تهویه خاک، زدن دندان‌های مغزه‌ای می‌باشد.^۱ ماشین مغزه‌های کوچکی را از خاک بر می‌دارد و سوراخهایی با قطر ۲ سانتی‌متر و عمق ۵ تا ۸ سانتی‌متر ایجاد می‌کند. این روش معمولاً در اراضی چمنی پررفت‌وآمد مورد استفاده قرار می‌گیرد. توجه کنید که ماشین ضمن این‌که مغزه‌هایی را به آسانی برمی‌دارد، سوراخ‌هایی با فشار در داخل خاک ایجاد نمی‌کند، فرایندی که سبب افزایش تراکم در پیرامون سوراخ و محدودیت پخشیدگی هوا در داخل خاک می‌شود.

^۱ -Core cultivation

جدول ۵-۷ انواع اراضی باتلاقی عمده و مساحت جهانی آنها. اراضی باتلاقی شاید روی هم رفته ۱۴ درصد اراضی جهان را شامل شوند.

انواع اراضی مرطوب	مساحت جهانی		درصد در تمام اراضی مرطوب
	۱۰۰۰ کیلومتر مربع	بدون یخ‌بندان	درصد در اراضی
اراضی داخلی (باتلاق‌ها، مرداب‌ها)	۵۴۵۱	۳/۹	۲۸/۸
اراضی حاشیه‌ی رودخانه‌ها و دریاچه‌ها و یا موقتی	۳۱۰۲	۲/۳	۱۶/۵
خاک‌های آلی (هیستوسول)	۱۳۶۶	۱	۷/۳
اراضی تحت تأثیر نمک از جمله اراضی ساحلی	۲۲۳۰	۱/۶	۱۱/۹
اراضی تحت یخ‌بندان دائمی (هیستل)	۶۶۹۶	۴/۹	۳۵/۶

تعریف یک زمین باتلاقی

واژه‌های باتلاق، مرداب و مانداب در مورد یک زمین مرطوب خاص برای قرن‌ها مورد استفاده بوده است و اکثر مردم از چگونگی این اراضی به‌خوبی مطلعند. بنابراین ممکن است به‌رغم ده‌ها سال تلاش دانشمندان و قانون‌گزاران محیط‌زیست، هنوز تعریف دقیق زمین باتلاقی مورد مجادله بوده و به‌صورت معما باقی مانده باشد^۱. اراضی باتلاقی یک واژه علمی برای بوم‌سامان‌هایی است که در حالت انتقالی بین آب و زمین می‌باشند. این نظام‌ها به‌طور محض نه زمینی هستند و نه آبی، درحالی‌که انواع اراضی باتلاقی متفاوت وجود دارند آن‌ها دارای یک سیمای کلیدی به نام خاک هستند که در نزدیکی سطح برای مدت طولانی و هنگامی که دمای خاک برای ایجاد شرایط غیرهوازی مناسب است از آب اشباع می‌باشند. عمده‌تاً این سیطره شرایط غیرهوازی است که انواع گیاهان، جانوران و خاک‌های موجود در این مناطق را تعیین می‌کند. توافق گسترده‌ای بر این امر وجود دارد که انتهای مرطوب‌تر یک زمین باتلاقی در چنان عمقی وجود دارد که گیاهان جوانه‌زده نمی‌توانند به آن متکی باشند. مشکل در تعریف دقیق انتهای خشک یک زمین باتلاقی است که در خارج از این سرز دیگر زمین باتلاقی وجود ندارد، نظام اراضی مرتفعی که در آن جوامع گیاه - خاک - حیوان دیگر چندان تحت تأثیر خاک‌های اشباع از آب قرار ندارند.

مجادله در مورد اراضی باتلاقی احتمالاً بیشتر سیاسی می‌باشد تا علمی. هرچند از آنجا که استفاده و مدیریت اراضی باتلاقی در آمریکا و بسیاری از کشورهای دیگر تحت مقررات دولتی می‌باشد، میلیاردها دلار در گرو تعریف اراضی باتلاقی و اراضی غیر باتلاقی می‌باشد (توجه کنید که یک پیمانکار ساختمانی می‌خواهد ۱۰۰ هکتار زمین را برای ایجاد مراکز خرید فروش اتباع کند اگر اراضی ۲۰ در مقابل ۶۰ هکتار فاقد محدودیت برای توسعه باشند. این امر بر تمایل فروشنده چه تأثیری خواهد داشت؟).

به‌خاطر درگروبودن این همه پول، هزاران متخصص زیست‌محیطی در تعریف اراضی باتلاقی و پیدا کردن انتهای خشک‌تر اراضی باتلاقی به‌طور دقیق در صحرا استخدام شده‌اند، جداسازی اراضی باتلاقی بر صفحه‌ی رایانه قابل انجام نیست بلکه یک شغل عرق‌ریزان، در محیط پرگل و شل و پر از گزش ساس و پشه است که افرادی که در دانش خاک خیره هستند فقط برای انجام آن واجد شرایط می‌باشند. این دانشمندان به‌دنبال چه خصوصیتی برای اعلام وجود یک نظام اراضی باتلاقی می‌باشند؟ اکثر مسئولین بر وجود سه خصوصیت در اراضی باتلاقی به‌شرح زیر توافق دارند.

۱. هیدرولوژی (آب‌شناسی) اراضی باتلاقی و یا رژیم آبی

۲. خاک‌های آب‌دار

۳. گیاهان آب‌دوست

به‌طور خلاصه این موارد را بررسی می‌کنیم

^۱ - در سال ۱۹۸۷ سپاه مهندسی آمریکا و سازمان محیط زیست در مورد تعریف زیرین برای اجرای طرح (آب تمیز) توافق به‌عمل آوردند: واژه‌ی اراضی باتلاقی شامل آن اراضی می‌شود که زیر پوشش آب بوده و یا به‌وسیله‌ی آب سطحی و یا زیرزمینی به حالت اشباع بوده و تکرار دفعات اشباع و مدت دوام آن در تحت شرایط عادی برای حفظ و بقای پوشش گیاهی سازگار با شرایط اشباع کفایت نماید

هیدرولوژی (آب‌شناسی) اراضی باتلاقی

تعدادل آب: آب آشکارا یک جزء مهم از اراضی باتلاقی می‌باشد. هرچند انواع اراضی باتلاقی در رابطه با میزان آب موجود در آن‌ها و نحوه‌ی تأمین این آب متفاوتند. آب وارده به مرداب‌ها از رواناب سطحی (اراضی باتلاقی و مرداب‌ها)، نشست آب زیرزمینی، و یا به‌طور مستقیم از باران می‌باشد که به‌وسیله‌ی جریان‌های سطحی و یا زیرزمینی و همچنین تبخیر و تعرق از آن‌ها خارج می‌شود (بخش ۳-۶ و جدول ۲-۷ را مشاهده کنید). تعادل بین ورودی و خروجی، و همچنین ظرفیت نگهداری آب در اراضی، مرطوب شدن و میزان تداوم آنرا مشخص می‌سازد.

دور آبی: میزان اشباع خاک در اراضی باتلاقی به‌وسیله‌ی سطح ایستابی (در بالا و یا زیرسطح خاک) تعیین می‌شود و این سطح در زمان‌های مختلف نوسان دارد. چگونگی تغییرات زمانی این سطح ایستابی دورآبی نام دارد. برای باتلاق‌های ساحلی، دور آبی ممکن است با توجه به جزرومد روزانه باشد (شکل ۱۴-۷) برای باتلاق‌ها و مرداب‌های داخلی دور آبی با احتمال بیشتر فصلی بوده، و بالاترین سطح ایستابی در فصل بیشترین بارندگی و یا ذوب برف و کمترین تبخیر و تعرق به‌وجود می‌آید. بعضی از اراضی باتلاقی ممکن است برای مدت حدود یک‌ماه در سال در غرقاب باشند، درحالی‌که بقیه هرگز به‌حالت غرقاب نبوده، گرچه در افق‌های فوقانی خاک از آب اشباع می‌باشند.



شکل ۱۴-۷ نمونه‌ای از یک زمین باتلاقی با دوره زمانی مرطوب شدن روزانه که به‌دنبال بالا و پایین رفتن جزرومد آب‌های نسبتاً شور در مصب روی می‌دهد. این باتلاق جزر و مدی با لانه سگ آبی در جزر پایین وقتی خاک‌های اشباع و گیاهان بیرون آمده‌اند نمودار می‌شود. مرز خشک‌تر این اراضی باتلاقی احتمالاً درست بعد از خط درختان در قسمت عقب عکس باشد.

همچنین، در دوره‌ی اشباع اگر خاک برای فعالیت میکروبی و یا فعالیت ریشه گیاه خیلی سرد باشد، ممکن است شرایط غیرهوازی حتی در خاک‌های تحت غرقاب صورت نگیرد. این نیازمندی دما بعضی مواقع تحت عنوان فصل رشد، در رابطه با زمانی از سال که در آن گیاهان فعال می‌رویند نامیده می‌شوند. همان‌طورکه در فصل ۹-۷ خواهیم دید، فعالیت میکروبی تا حدود ۵ درجه سانتی‌گراد ادامه دارد. بنابراین، وقتی دمای خاک از آن بیشتر شد (حتی در صورت خواب درختان) ممکن است O_2 تخلیه گردد. به‌خاطر بیاورید که این شرایط غیرهوازی است، نه فقط اشباع از آب، که یک زمین باتلاقی را ایجاد می‌کند.

زمان باقی‌ماندن آب: هرچه آب آرام‌تر به‌داخل اراضی باتلاقی وارد و از آن‌ها خارج گردد، زمان مواجه‌بودن با شرایط اراضی باتلاقی بیشتر خواهد بود. زمان باقی‌ماندن بیشتر باعث می‌شود که فعالیت‌ها و واکنش‌های اراضی باتلاقی به‌انجام برسد به این دلیل، عملیاتی که سبب تسریع در جریان آب گردند، مانند ایجاد نهرها و یا مستقیم ساختن پیچ‌وخم رودخانه‌ها سبب از بین رفتن اراضی باتلاقی گردیده و باید در مدیریت اراضی باتلاقی از آن‌ها اجتناب کرد.

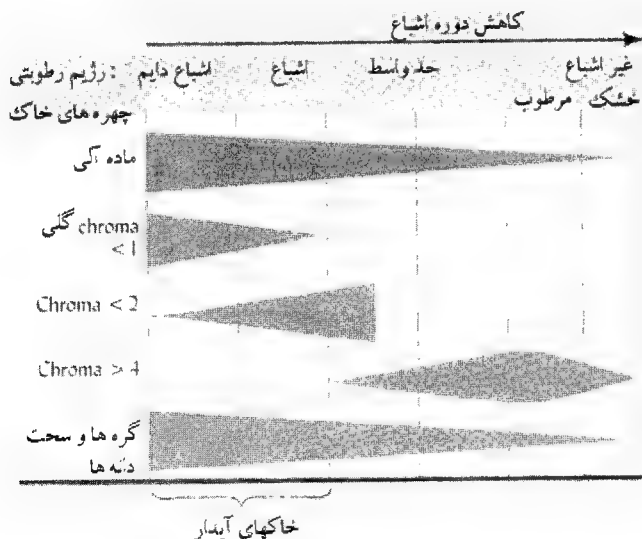
شاخص‌ها: تمام اراضی باتلاقی در بعضی از مواقع از آب اشباع هستند اما همه‌ی آن‌ها برای همیشه اشباع نمی‌باشند. در طول ایام تر غرقاب گردیدن به‌وسیله‌ی آب کم‌عمق مشهود می‌باشد. هرچند، مشاهدات منظم صحرایی با کمک ادواتی برای نظارت تغییرات سطح آب زیرزمینی برای مشخص کردن تکرار و تداوم شرایط غرقابی و یا اشباع، لازم می‌باشد.

در مزرعه حتی در طول ایام خشک، علائم بسیار زیادی وجود دارد که شخص می‌تواند از آن‌ها برای تعیین محل‌هایی که شرایط اشیاع در آن‌ها به‌طور مکرر صورت می‌گیرد استفاده کند. غرقاب شدن قبلی سبب باقی‌گذاشتن داغاب بر روی درختان و سنگ‌ها و رسوبات پوششی بر روی برگ و باقی‌مانده گیاهان می‌شود. داغاب شاخه‌ها، سرشاخه‌ها و سایر خس‌وخاشاک بیانگر طغیان قبلی می‌باشد. درختانی با ریشه‌های فراوان در سطح خاک معرف سازگاری آن‌ها با شرایط اشیاع می‌باشد. اما شاید بهترین شاخص شرایط اشیاع حضور خاک‌های آب‌دار باشد.

خاک‌های آب‌دار^۱

برای کمک به تشخیص کردن اراضی باتلاقی، دانشمندان خاک مفهوم خاک‌های آب‌دار را ابداع نموده‌اند. (فصل ۳ را مشاهده کنید). این خاک‌ها اکثراً (اما نه تماماً) در زیرده‌های اکویک مانند اکونت، اکوپت و آکوالف و یا زیرگروه‌های اکویک در راستی هیستوسول دبقه‌بندی شده‌اند. این خاک‌ها معمولاً دارای رژیم رطوبتی اکویک و یا اکویک دایمی^۲ می‌باشند. (بخش ۲-۳ را مشاهده کنید).

تعریف: سه خصوصیت در تعریف خاک‌های هیدریک مورد استفاده می‌باشد. اول، خاک‌ها در معرض دوره‌های اشیاع قرار گرفته که سبب محدودیت پخشیدگی O_2 به‌داخل خاک می‌شود. دوم، برای مدت‌های قابل‌توجهی آن‌ها در شرایط احیا قرار می‌گیرند (بخش ۴-۷)، که در آن قبول‌کننده‌های الکترون غیر از O_2 احیاء می‌شوند. سوم، آن‌ها علائم مشخصی را که شاخص‌های خاک آب‌دار نامیده می‌شوند آشکار سازند. شاخص‌ها: شاخص‌های خاک آب‌دار چهره‌هایی می‌باشند که همراه اشیاع و احیا (بعضی مواقع فقط در مناطق جغرافیایی خاص) یافت می‌شوند. اکثر این شاخص‌ها می‌توانند در مزرعه با حفز یک چاله‌ی کوچک با عمق ۵۰ سانتی‌متر مورد مشاهده قرار گیرند. آن‌ها عمدتاً شامل فقدان و یا تجمع اشکال مختلف S, Mn, Fe و یا کربن می‌باشند. تراکم کربن (ماده‌ی آلی) در خاک‌های هیستوسول بسیار آشکار است، اما لایه‌های ضخیم تیره سطحی در دیگر خاک‌ها وقتی می‌تواند شاخص شرایط آب‌دار بودن باشد، که در آن تجزیه ماده‌ی آلی دچار محدودیت گردیده است (برای نمونه به تابلوهای رنگی ۲۱ و ۲۶ مراجعه کنید).



شکل ۷-۱۵ رابطه‌ی بین وجود بعضی از چهره‌های خاک و تداوم سالانه‌ی شرایط اشیاع آن. نبود تراکم آهن (رنگدانه‌ها) با رنگ‌های دارای کرومای بیشتر از ۴ و حضور قوی سایر چهره‌ها، شاخص احتمالی از خاک‌های آب‌دار هستند.

آهن هنگام احیا به $Fe(II)$ به‌مقدار کافی محلول گردیده، و از منطقه‌ی احیا مهاجرت نموده و ممکن است به‌صورت ترکیبات $Fe(III)$ در محدوده‌های هوازی ترسیب یابد. محدوده‌هایی که احیاء سبب جدانمودن و یا تخلیه‌ی پوشش آهن از ذرات کانی‌ها شود، تحت عنوان تخلیه‌ی احیایی^۳ نام دارند. آن‌ها معمولاً رنگ خاکستری و یا کرومای پایین را در کانی‌های لخت زیرین خود به نمایش می‌گذارند (برای تعریف کروما به بخش ۴-۱ مراجعه کنید). همچنین آهن خود به رنگ خاکستری و یا آبی متمایل به سبز در صورت احیا برمی‌گردد.

^۱ - hydric soils: سازمان حفاظت منابع طبیعی وزارت کشاورزی آمریکا خاکهای آب‌دار را چنین تعریف می‌کند: خاکهایی که تحت شرایط اشیاع، غرقابی و یا ماندابی بودن به‌مدت طولانی در فصل رشد تشکیل شده و بتواند شرایط غیرهوازی را در طبقات فوقانی خاک ایجاد نماید.

^۲ - Peraquic

^۳ - Redox depletions

رنگ‌های متضاد مناطق تخلیه‌ی احیایی از آهن احیا شده و منطقه آهن اکسید شده قرمز، سبب ایجاد رنگین‌دانه‌های شاخص اکسید^۱-احیایی می‌باشد (برای نمونه تابلوهای رنگی ۱۵ و ۱۸ را مشاهده کنید). سایر چهره‌های احیایی شامل Mn احیا شده می‌باشد. این چهره‌ها شامل گردانه‌های سیاهی می‌باشد که بعضی مواقع شبیه ساجمه‌های تفنگ شکاری هستند. در تحت شرایط احیاء شدید تمام ماتریکس خاک ممکن است رنگهایی با کرومای پایین را به نمایش گذارند که به آن‌ها گلی^۲ اطلاق می‌گردد. خاک دارای کرومای یک و یا کمتر به‌طور قابل‌اطمینان بیانگر شرایط احیاء می‌باشند (شکل ۱۵-۷ را مشاهده کنید).

همیشه درخاطر داشته باشید که چهره‌های اکسید-احیایی فقط زمانی معرف خاک‌های آب‌دار می‌باشند که در افق‌های بالا یافت گردند. بسیاری از خاک‌های مناطق مرتفع چهره‌هایی اکسید-احیایی را فقط در افق‌های عمیق خود به‌دلیل نوسانات سطح ایستابی در عمق، آشکار می‌سازند. خاک‌های مناطق مرتفع که برای مدت کوتاهی، به‌خصوص در فصل سرد تحت اشباع و حتی غرقابی قرار داشته باشند اراضی باتلاقی (خاک‌های آب‌دار) به حساب نمی‌آیند.

یک چهره‌ی شاخص اکسید-احیایی که با گیاهان خاص اراضی باتلاقی همراه است حضور یک ماتریکس غیرخاکستری است که در آن آهن اکسید شده قرمز در اطراف ریشه‌راه‌ها به‌دلیل پخشیدگی O₂ از مجاری هوایی تأمین‌کننده‌ی اکسیژن ریشه در گیاهان آب‌زی (تابلوی رنگی ۲۰) مشاهده می‌شود. این محدوده اکسید شده ریشه رابطه نزدیک بین خاک‌های آب‌دار و گیاهان آب‌زی را آشکار می‌سازد.

گیاهان آب‌زی^۳

اگرچه بخش عمده‌ای از گونه‌های گیاهی نمی‌توانند در شرایط خاص اراضی باتلاقی زنده بمانند، جوامع متنوع و مختلفی از گیاهان وجود دارند که سازوکار خاصی را برای سازگاری زندگی خود با شرایط خاک‌های اشباع غیرهوازی تکامل بخشیده‌اند. این نباتات شامل گیاهان آب‌زی می‌باشند که اراضی باتلاقی را از سایر نظام‌ها مشخص می‌سازند.

چهره‌های شاخص سازگاری در این نباتات شامل بافتهایی ارائشیم^۴ خالی است که امکان می‌دهد نباتاتی مانند علف اسپارتن^۵ اکسیژن را به پایین، به داخل ریشه‌های خود انتقال دهد. درختان خاص (مانند سرو کچل^۶) ریشه‌های نابه‌جا، ریشه‌های حایل و یا زانوهای (شکل ۱-۷ را مشاهده کنید) ایجاد می‌کنند. دیگر گونه‌ها حجم اندکی از ریشه‌های خود را به روی زمین و یا در نزدیکی سطح خاک، که در آن مقداری اکسیژن، حتی در زیر یک لایه‌ی خاک غرقابی می‌تواند پخش شود، گسترش می‌دهند. آخرین ستون سمت چپ در جدول ۷-۴ تعداد اندکی از گیاهان آب‌زی را مشخص کرده است. تمام گیاهان در اراضی باتلاقی، آب‌زی نیستند اما اکثر آن‌ها آب‌زی می‌باشند.

شیمی خاک‌های مرطوب

خاک‌های آب‌دار و گیاهان آب‌زی هر دو بخشی از نتایج و بخشی از علل شیمی خاص در نظام‌های اراضی باتلاقی می‌باشند. ویژگی‌های اصلی شیمی خاک‌های باتلاقی پتانسیل اندک اکسید-احیایی موجود است (بخش ۴-۷ را مشاهده کنید). به‌علاوه بسیاری از نقش‌های اراضی باتلاقی وابسته به تغییرات پتانسیل اکسید-احیایی است. و این بدان‌معنی است که در محدوده‌ی خاص و یا برای مدت‌های خاص شرایط اکسایش در تناوب با شرایط احیایی صورت می‌گیرد.

اکسیژن اندک: به‌طور نمونه در خاک‌های مرطوب غرقابی O₂ نیوار و یا آب اکسیژن‌دار قادر است در ۱ تا ۲ سانتی‌متر سطح خاک پخشیدگی پیدا کرده و یک محدوده‌ی اکسایش را ایجاد کند (شکل ۱۶-۷ را مشاهده کنید). پخشیدگی O₂ در داخل یک خاک اشباع فوق‌العاده محدود است؛ بنابراین چند سانتی‌متر عمیق‌تر در خاک‌رخ، O₂، حذف گردیده و پتانسیل اکسید-احیایی به‌مقدار کافی برای ایجاد واکنشهایی مانند احیاء نترات پایین می‌آید. مجاورت نزدیک محدوده‌های اکسایش و احیاء این امکان را فراهم می‌کند آبی -ه از اراضی باتلاقی عبور می‌کند بر اثر اکسایش بعدی آمونیوم و تولید نترات و احیاء متعاقب نترات و ایجاد گازهای ازته در اثر فرایند نترات زدایی و فرار آن‌ها به نیوار از اکسیژن تهی گردد (بخش ۹-۱۳ را مشاهده کنید).

اکسایش - احیاء: پتانسیل اکسید-احیایی ممکن است چنان پایین بیاید که برای احیاء آهن و تولید چهره‌های احیایی و احیاء سولفات و تولید بوی تخم‌مرغ گندیده گاز سولفید هیدروژن (H₂S) کفایت کند. محدوده‌ی غیرهوازی ممکن است به پایین گسترش یافته و یا در

¹ - Redoximorphic features

² - Gley

³ - Hydrophytic vegetation

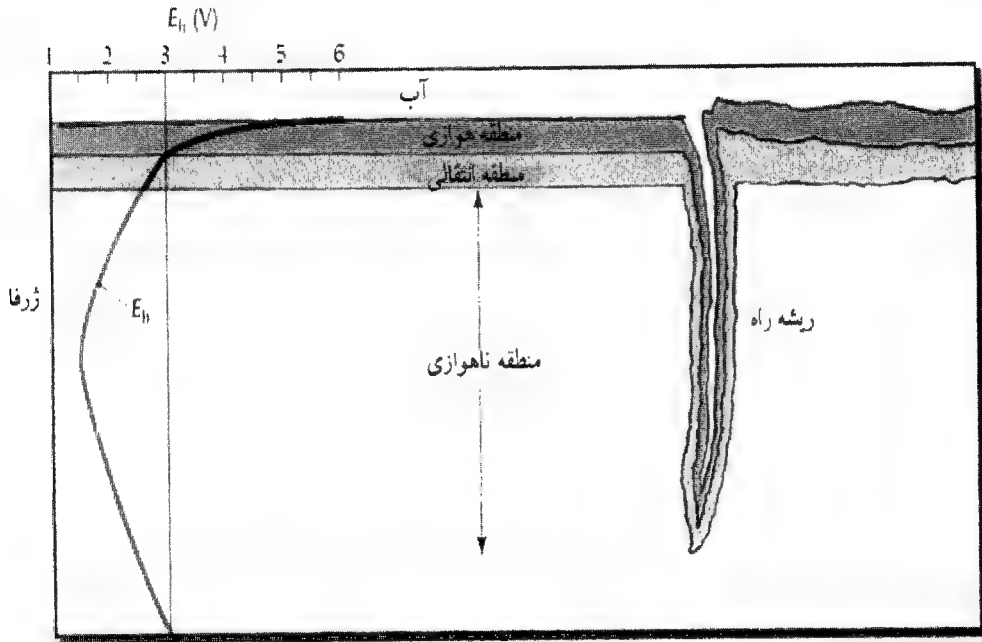
⁴ - Aerenchyma

⁵ - Spartina grass

⁶ - Bald cypress

بعضی موارد به چند سانتی متر بالایی، که فعالیت میکروبی بالا است محدود گردد. واکنش‌های غیرهوازی کربن که در بخش ۶-۷ مورد بحث قرار گرفت از خصوصیات این محدوده بوده که تولید متان (گاز مرداب) را به همراه دارد. این واکنش‌ها، و دیگر واکنش‌های شیمیایی که در چرخه‌ی C و N و S موجود می‌باشند در بخش‌های ۲-۱۲، ۹-۱۳، ۲۱-۱۳ تشریح گردیده است. عناصر سمی مانند کرم و سلنیم وارد واکنش‌های اکسید احیایی گردیده و امکان جداسازی آن‌ها را قبل از خروج آب از اراضی باتلاقی فراهم می‌کند. اسیدهای حاصل از کارخانه‌ها و یا زه‌کشی معادن ممکن است در اثر واکنش‌هایی خاک‌های آب‌دار خنثی گردند.

این مجموعه از واکنش‌های شیمیایی سبب ایجاد منافعی فراوان برای جامعه و زیست محیط از اراضی باتلاقی می‌شود (تابلو ۱-۷ را مشاهده کنید).



شکل ۷-۱۶ پتانسیل اکسید-احیایی معرف در خاک‌ریخ یک خاک آب‌دار غرقابی. بسیاری از نقش‌های زیستی و شیمیایی اراضی باتلاقی در ارتباط نزدیک با محدودهای اکسایش و احیایی در داخل خاک می‌باشد. تغییرات در پتانسیل اکسید-احیایی در عمق‌های پایین به‌طور عمده در ارتباط با توزیع عمودی ماده‌ی آلی می‌باشد. در بعضی موارد، پایین‌بودن ماده‌ی آلی در خاک تحت‌الارض سبب ایجاد محدوده‌ی اکسایش دوم در زیر محدوده احیاء می‌گردد.

اراضی باتلاقی مصنوعی

با درک نقش‌های مفید اراضی باتلاقی، دانشمندان و مهندسين نه تنها درصدد یافتن راه‌هایی برای محافظت اراضی باتلاقی طبیعی می‌باشند، بلکه اقدام به ایجاد اراضی باتلاقی مصنوعی برای مقاصد خاص، مانند اصلاح فاضلاب (تابلو ۲-۱۴ را مشاهده کنید) کرده‌اند. دلیل دیگر در تلاش‌های ایجاد اراضی باتلاقی، تحقق شرایطی است که در مقررات مربوط به از بین بردن اراضی باتلاقی طبیعی برقرار گردیده است و آن ایجاد اراضی باتلاقی مصنوعی، هم‌اندازه و یا بزرگ‌تر از اراضی باتلاقی طبیعی و یا سازگاری اراضی باتلاقی طبیعی تخریب شده می‌باشد. همان‌طور که انتظار می‌رود، این فرایند که جبران‌کردن اراضی باتلاقی^۱ نامیده می‌شود، فقط تا حدی موفق بوده است زیرا نمی‌توان از دانشمندان انتظار داشت چیزی را ایجاد کنند که خود به درستی نمی‌توانند چگونه باید باشد.

ما تأثیر آب خاک را در تهویه خاک مشاهده کرده‌ایم، حال به خصوصیت فیزیکی دیگری از خاک یعنی دمای آن برمی‌گردیم که به مقدار زیادی تحت تأثیر آب خاک است.

¹ - Wetland mitigation

تابلو ۷-۱: نقش‌های سودمند اراضی باتلاقی برای بوم‌سامان‌ها و جامعه

اراضی باتلاقی که زمانی به‌عنوان اراضی بی‌فایده بیماری‌زا تلقی می‌گشتند، حال مشخص شده است که نقش‌های فوق‌العاده با ارزشی را ایفا می‌کنند. یک گروه از دانشمندان برآورد کرده‌اند که در مقیاس جهانی، اراضی باتلاقی خدماتی را ارائه می‌دهند که ارزش آن‌ها ۱۰ تریلیون دلار در سال می‌باشد. ما می‌توانیم حداقل ۶ نواح مزایا را که از اراضی باتلاقی ناشی می‌شوند جمع‌بندی کنیم. تشخیص این مزایا سبب انگیزش انجام مطالعات اراضی باتلاقی و مقررات حفاظتی گردیده است.

۱- زیست‌گاه گونه‌ها: اراضی باتلاقی شرایط زیست‌محیطی خاص موردنیاز مجموعه گسترده‌ای از گونه‌های وحشی را فراهم می‌کنند. نباتاتی مانند سرو کچل و گیاهان شیوری و حیواناتی مانند سمندر و موش آبی، که اراضی باتلاقی را به‌عنوان زیست‌گاه اولیه (چون در اراضی باتلاقی زندگی می‌کنند) انتخاب می‌کنند. به‌علاوه حدود ۴۰ درصد تمام گونه‌های در معرض خطر و نابودی به نحوی به اراضی باتلاقی وابسته می‌باشند (برای غذا و پناه‌گاه) حدود ۱/۳ تمام گونه‌های پرند در آمریکا نیز به اراضی باتلاقی وابسته‌اند.

۲- تصفیه آب: آب با عبور از اراضی باتلاقی برای رسیدن به رودخانه، خلیج، دریاچه، مصب و سطح ایستابی، تصفیه شده و تمیز می‌گردد. اراضی باتلاقی به‌طور فیزیکی تمام رسوبات را تصفیه می‌کنند، و بخش عظیمی از عناصر غذایی نباتات (به‌خصوص P, N) را که می‌توانند سبب بروز غنی‌شدن در نظام‌های آبی گردند جدا نموده (فصل ۲-۱۴ را مشاهده کنید) و سبب تجزیه‌ی موادآلی شوند که می‌توانند در نظام‌های آبی و آب آشامیدن سبب ایجاد سمیت و یا تخلیه O_2 گردند.

۳- کاهش سیل‌گیری: اراضی باتلاقی می‌توانند همانند مخازن عظیم برای نگهداری حجم بزرگی از رواناب حاصل از رگبارها در اراضی مجاور آن عمل کنند. آن‌ها بعداً آب را به جریان آرامی، چه به‌صورت جریان سطحی و یا زیرزمینی رها می‌کنند بنابراین، از اوج جریان و طغیان سیل، که سبب نابودی منازل و اراضی کشاورزی در حاشیه رودخانه می‌شود، ممانعت می‌کنند. مطالعات نشان داده‌اند که سیل‌ها در مناطقی که نظام رودخانه‌ای امکان نگهداری اراضی باتلاقی خود را داشته‌اند بسیار کمتر خطرناک و بسیار نادر بوده‌اند.

۴- نگهداری سواحل: اراضی باتلاقی ساحلی. همانند یک خط بین موج‌های پراترژ دری و ساحل عمل نموده و از فرسایش ساحلی شدید، که در صورت زه‌کشی و یا پرشدن اراضی باتلاقی صورت می‌گیرد، ممانعت می‌کنند.

۵- فعالیت‌های تجاری و تفریحی: در ایالات متحده مردم میلیون‌ها دلار را برای به‌دام‌انداختن، صید، تماشا و یا عکس‌برداری از پرندگان و حیوانات و ماهی‌ها که یا در اراضی باتلاقی زندگی می‌کنند و یا برای تأمین غذا و لانه‌سازی به آن وابسته هستند، هزینه می‌کنند. دو نمونه از این وابستگی‌ها بیان می‌شود. اول، جمعیت مرغابی از دهه‌ی ۱۹۴۰ به‌موازات کاهش چاله‌های آبی در مرغزارها تقلیل یافت (شکل ۳-۶ را مشاهده کنید). دوم، صید ماهی صخره‌ای^۱ در خلیج چزاپیک^۲ به‌دنبال زه‌کشی و تخریب اراضی ساحلی که اساس زنجیره‌ی غذایی آن‌هاست، به‌سرعت کاهش یافت.

۶- تولیدات طبیعی: تولیدات بارزش مانند الوار، توت آبی، توت حواصیل، ماهی و برنج وحشی می‌توانند به‌طور پایدار از اراضی باتلاقی خاص در تحت مدیریت آگاهانه برداشت گردند. زیبایی مناظر نیز می‌تواند به‌عنوان یکی از محصولات اراضی باتلاقی مورد ملاحظه قرار گیرد که مردم می‌توانند بدون ایجاد خسارت در نظام از آن لذت ببرند.

۷-۹ فرایندهایی که تحت تأثیر دمای خاک می‌باشند

دمای خاک در فرایندهای فیزیکی، زیستی و شیمیایی که در خاک صورت می‌گیرند بسیار مؤثر می‌باشد. در خاک‌های سرد، میزان واکنش‌های شیمیایی و زیستی پایین است و تجزیه‌ی زیستی تقریباً متوقف است، بنابراین میزان قابل‌استفاده‌بودن عناصر غذایی مانند ازت، فسفر، کلسیم و گوگرد محدود می‌شود. جذب و انتقال آب و مواد غذایی به‌وسیله‌ی گیاهان عالی در دمای پایین متوقف می‌گردد. دمای خیلی بالا می‌تواند از فرایندهای زیستی نباتات و میکروب‌ها ممانعت کند. دامنه‌ی دما برای بسیاری از فرایندهای خاک با چند دمای شاخص در شکل ۷-۱۷ داده شده است.

^۱ - Striped bass (rock fish)

^۲ - Chesapeake bay

فرایندهای نباتی

میزان رشد اکثر نباتات عملاً به دمای خاک بیشتر حساس است تا دمای بالای سطح زمین، اما این امر خیلی مورد توجه قرار نگرفته است، زیرا اکثر دمای هوا اندازه‌گیری می‌شود. اکثر گیاهان دارای دامنه دمای باریک‌تری برای رشد بهینه می‌باشند. برای نمونه، دوگونه ذرت و کاج لابلالی، که در مناطق گرم تکوین یافته‌اند، وقتی دمای خاک حدود ۲۵ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد باشد به‌خوبی رشد می‌کنند. درمقابل، دمای بهینه خاک برای چاودار و افرا قرمز، دو گونه‌ای که در مناطق سرد تکامل یافته‌اند، در دامنه‌ی ۱۸-۱۲ درجه سانتی‌گراد است.

در مناطق خنک معتدل، دمای خاک معمولاً توان تولید محصولات و پوشش طبیعی را محدود می‌کند. با گرم کردن خاک عملکرد بعضی از سبزی‌ها و میوه‌های کوچک می‌تواند به‌طور چشم‌گیری افزایش یابد (شکل ۱۸-۷). چرخه‌ی زیستی نباتات نیز به مقدار زیادی تحت تأثیر دمای خاک است. برای مثال، پیاز لاله برای تولید جوانه‌ی گل نیازمند سرمای اول بهار می‌باشد، هرچند گل‌دادن تا گرم شدن خاک تا بعد از بهار بطول می‌انجامد. در مناطق گرم، و در مناطق معتدل در تابستان، ممکن است دمای خاک برای رشد بهینه‌ی گیاه، به‌ویژه در چندساعتی متری فوقانی خاک، بسیار بالا باشد. حتی نباتات مناطق گرمسیری، مانند ذرت، در دمای بالاتر از ۳۵ درجه سانتیگراد به‌طور منفی تحت تأثیر قرار می‌گیرند. میزان جوانه‌زدن بذر نیز ممکن است در دمای بالای خاک کاهش یابد. رشد ریشه در نزدیکی سطح ممکن است در اثر سایه‌دارشدن خاک به‌وسیله‌ی گیاهان زنده و پس‌مانده‌های گیاهی و یا استفاده از خاک‌پوش تقویت گردد.

جوانه‌زدن بذر : فرایندهای مخلف نباتی دارای دمای بهینه‌ی مناسبی می‌باشند. یکی از فرایندهای بسیار حساس به دما، جوانه‌زدن بذر است. برای نمونه زارعین می‌دانند که اگر بذر ذرت را در خاک‌های سردتر از ۷ تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد بکارند جوانه‌زدن انجام نشده و بذر از بین می‌رود. در همان گونه، رشد بهینه ریشه در دمای ۲۳ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد که مقداری خنک‌تر از دمای بهینه برای رشد ساقه است، صورت می‌گیرد. برای سیب‌زمینی، ایجاد غده‌ها، وقتی دمای خاک ۱۶ تا ۲۱ درجه سانتی‌گراد است به بهترین وجه انجام می‌شود، گرچه رشد شاخ و برگ نبات در دمای گرم‌تر خاک به خوبی انجام می‌شود.

بسیاری از گیاهان یک ساله علفی نیازمند دمای خاص برای آغاز جوانه‌زدن می‌باشند، و این امر علت بسیاری از تفاوت‌ها در بین گونه‌های گیاهان هرز در ابتدا و پایان فصل در اراضی زراعی می‌باشد. به‌همین ترتیب، بذر نباتات خاص که در فضا‌های خالی جنگل تطابق یافته‌اند. به‌وسیله‌ی دمای حداکثر روزانه بالای سطح خاک، و نوسانات بیشتر دما در خاک که در صورت ازبین‌رفتن تاج‌پوشش آن‌ها بر اثر برداشت جنگل و یا افتادن درختان به‌وسیله‌ی باد صورت می‌پذیرد تحریک می‌شوند. بذور گیاهان چمنی خاص نیازمند یک دوره دمای سرد (۴-۲ درجه سانتی‌گراد) می‌باشند تا آن‌ها را قادر سازد بعد از بهار جوانه زنند؛ به این فرایند بهاره‌شدن گفته می‌شود.

نقش و وظایف ریشه: وظایف ریشه، مانند جذب آب و عناصر غذایی، در خاک‌های سرد با دمای کمتر از بهینه برای گونه‌های خاص کند می‌شود. یکی از پی‌آمدها، کمبود عناصر غذایی، به‌ویژه فسفر است که در نباتات جوان در اول بهار صورت می‌گیرد، این کمبود وقتی از بین می‌رود که خاک در ماه‌های بعد گرم شود. پدیده‌ی سوختن زمستانه^۱ برگ نبات یکی دیگر از پی‌آمدهای دمای پایین خاک است که به‌خصوص بوته‌های همیشه سبز دچار آن می‌شوند در یک روز گرم آفتابی در زمستان و اول بهار، هنگامی که خاک هنوز سرد است ممکن است گیاهان همیشه سبز دچار خشکی گردیده و حتی از بین روند، زیرا جذب کندآب در خاک سرد به‌وسیله‌ی ریشه‌ها نمی‌تواند با میزان تبخیر بالای آفتاب درختان در روی پوشش برگی برابری کند. از این مسأله می‌توان با پوشش‌دادن و سایه‌دارکردن بوته‌ها اجتناب کرد.

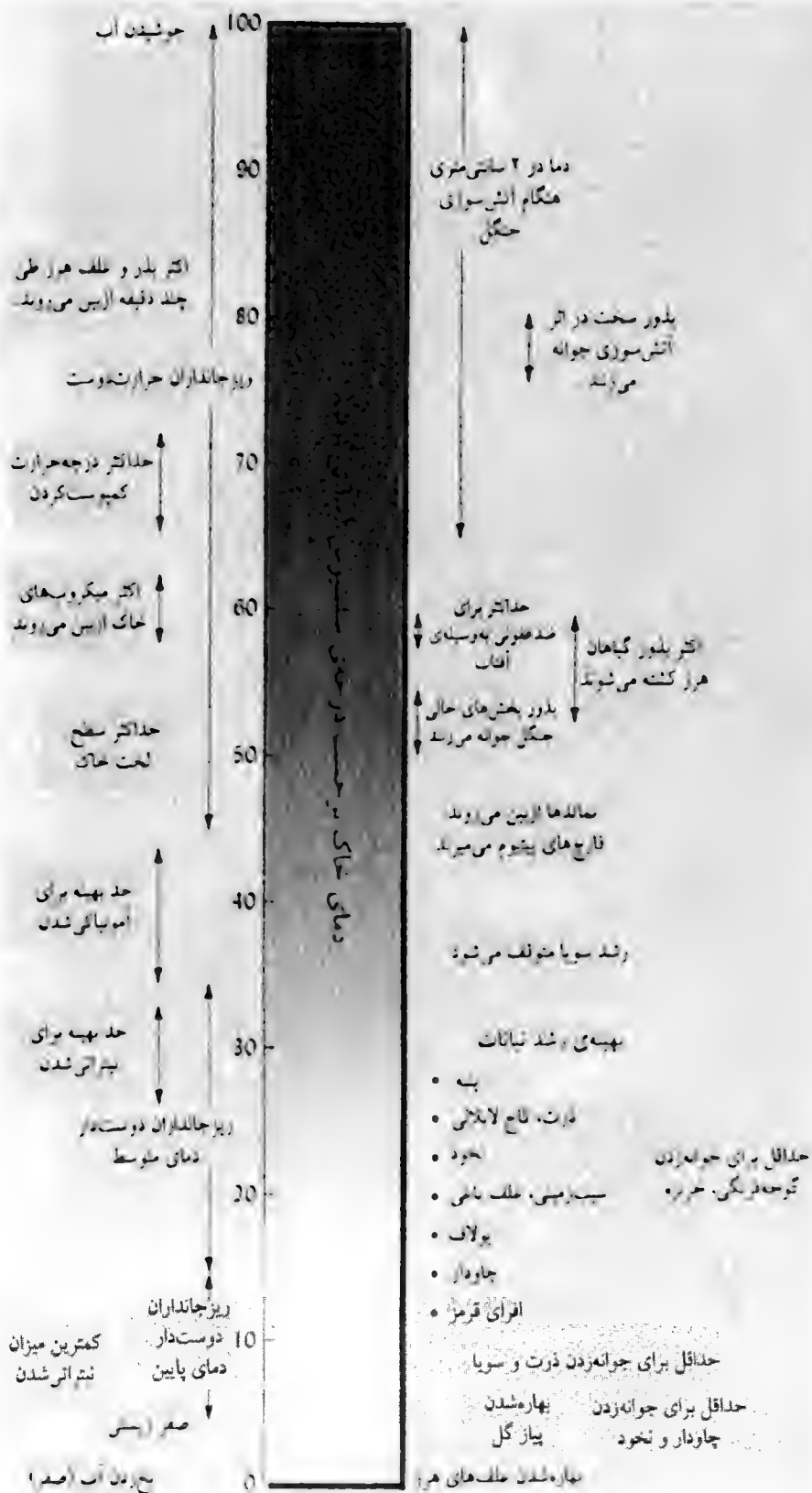
فرایندهای میکروبی

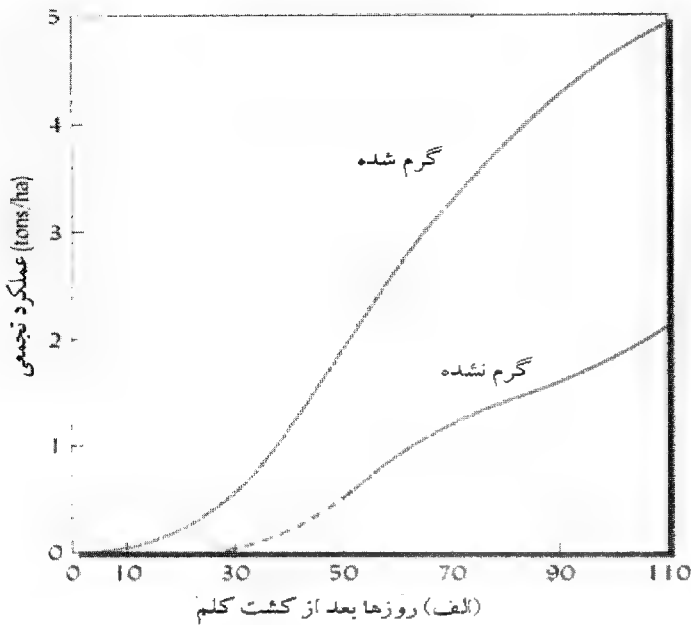
فرایندهای میکروبی به‌طور مشخص تحت تأثیر تغییرات دما می‌باشند، فعالیت میکروبی خاک به‌طور عام، و تجزیه‌ی مواد آلی در زیر ۵ درجه سانتی‌گراد دمای مرجع، که صفر زیستی نامیده می‌شود عملاً متوقف می‌گردد نرخ فرایندهای میکروبی مانند تنفس، برای افزایش هر ۱۰ درجه تا دمای ۳۵ تا ۴۰ (به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای دمای بهینه برای رشد نبات بالاتر است) بیشتر از ۲ برابر می‌گردد. وابستگی تنفس میکروبی به دماهای زیاد خاک کاربرد مهمی در تهویه خاک (فصل ۸-۷ را ملاحظه کنید) و تراکم ماده‌ی آلی دارد.

در دمای پایین نه تنها تنفس کاهش می‌یابد، بلکه تجزیه پس‌مانده‌های گیاهی و بنابراین چرخه‌ی عناصر غذایی موجود در آن‌ها نیز کاهش می‌یابد. توان تولید جنگل‌های شمالی (منطقه سرد^۲) احتمالاً به‌خاطر اثرات محدودکننده دمای پایین خاک بر روی بازچرخ میکروبی، و آزاد شدن ازت از لاشیرگ درختان و ماده‌ی آلی، کاهش می‌یابد.

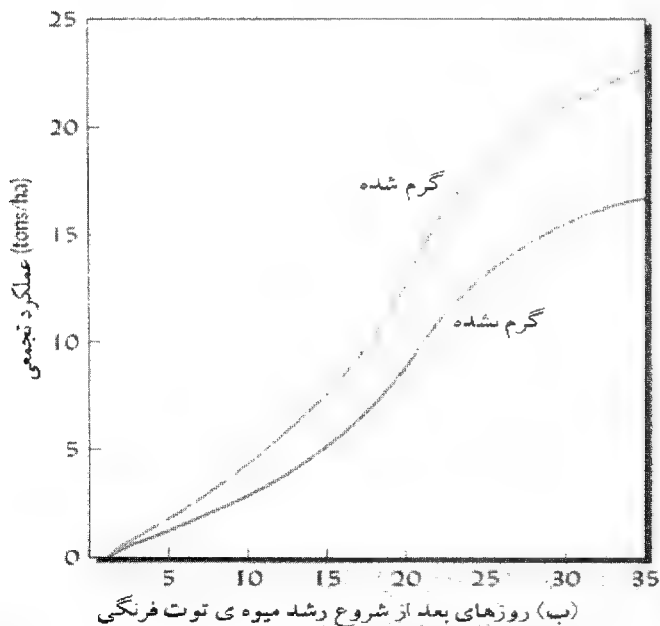
^۱ - Winter burn

^۲ - Boreal





شکل ۷-۱۸ تاثیر گرم کردن خاک در یک آزمایش در ایالت اورگن آمریکا بر عملکرد کلم بروکسل و توت فرنگی. نظام های گرم کننده در عمق ۹۲ سانتی متر جای گذاری گردید و سبب افزایش دمای متوسط خاک در عمق ۱۰۰-۱۰ سانتی متری به میزان ۱۰ درجه سانتی گراد گردید. هرچند دمای فوقانی خاک فقط ۳ درجه سانتی گراد گرم تر گردید.



اکسایش میکروبی بن آمونیوم به بن نترات که در دمای نزدیک ۳۰ درجه ی سانتی گراد به سهولت انجام می پذیرد وقتی دمای خاک کم و در حدود ۸ تا ۱۰ درجه سانتی گراد است، قابل اغماض می باشد. زراعت در مناطق سرد می توانند با تزریق کودهای آمونیاکی به داخل زمین سرد در بهار از این واقعیت، با علم به اینکه یون های آمونیوم تا مادامی که دمای خاک افزایش نیابد، به بن نترات تبدیل نخواهند شد، بهره گیرند، زیرا بن های نترات به آسانی از خاک آبخویی می شوند، درحالی که بن های آمونیوم آبخویی نخواهند شد (فصل ۸-۱۳ را مشاهده کنید)، ازت تا گرم شدن دمای خاک در فصول بعد نگهداری خواهد شد. سپس نترات شروع به ظاهر شدن می کند اما گیاهان باید به سرعت رشد کرده و از نترات استفاده کنند (فصل ۱۳ را مشاهده کنید). متأسفانه در بعضی سال ها یک دوره گرم امکان تولید نترات را زودتر از آنچه که انتظار می رود فراهم می سازد، و در نتیجه اکثر نترات در اثر آبخویی تلف می گردد، که هم برای زارع و هم کیفیت آب در پایین دست زیان آور خواهد بود.

دمای بالای خاک می‌تواند برای مهار بعضی از امراض نباتی مورد استفاده قرار گیرد در اقلیم با تابستان‌های گرم و آفتابی با دماهای روزانه بیشتر از ۳۵ درجه سانتی‌گراد، پوشاندن زمین با لایه‌های پلاستیک شفاف می‌تواند سبب بالارفتن دمای چند سانتی‌متر فوقانی خاک به ۵۰ تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد گردد. این دماها بعضی از امراض قارچی پژمردگی سبزی‌ها و میوه‌ها را کاهش داده و در بعضی از بذور گیاهان هرز و حشرات تأثیر منفی خواهد داشت، این فرایند که ضد عفونی خورشیدی^۱ خاک نامیده می‌شود برای مهار آفات و امراض در بعضی از زراعت‌های گرانبها مورد استفاده می‌باشد.

همان‌طور که در فصل ۱۸ خواهیم دید، دمای بالای خاک برای تجزیه آفت‌کش‌های آلی سمی و آلاینده‌ها در خاک به وسیله میکروب‌ها حیاتی می‌باشد. تنظیم دما برای برخی از فناوری‌های جدید، که از توانایی بعضی از ریزجانداران در تجزیه محصولات نفتی و سایر ترکیبات استفاده کنند، اساسی می‌باشد.

یخ‌زدن و ذوب

وقتی دمای خاک در بالا و پایین صفر درجه سانتی‌گراد نوسان می‌کند آب خاک در چرخه‌های یخ‌زدن و ذوب آن قرار می‌گیرد. تناوب یخ‌زدن و ذوب با تشکیل محدوده‌های یخ خالص در داخل خاک که به آن‌ها عدسی‌های یخ اطلاق می‌شود، و تشکیل بلورهای یخی و انبساط^۲ آن‌ها سبب ایجاد فشار برخاکدانه‌ها می‌شود، این فشار سبب تغییر ساختمان فیزیکی خاک می‌گردد. در یک خاک اشباع با ساختمان گنجراب، یخ‌زدن سبب خرد شدن توده‌های بزرگ گردیده و سبب بهبود خاکدانه‌ای شدن می‌گردد. برعکس، در خاک‌هایی با خاکدانه‌های مناسب، در صورت مواجه شدن خاک خیلی مرطوب با یخ‌زدن و ذوب آن، سبب تخریب ساختمان خاک می‌شود.

تناوب یخ‌زدن و ذوب آن سبب بالآمدن اشیاء در خاک می‌شود فرایندی که به آن ورآمدن یخی^۳ گفته می‌شود. موادی که تحت تأثیر ورآمدن قرار می‌گیرند، شامل سنگ‌ها، تیرهای حصارکشی، و نباتات چندساله با ریشه‌ی راست می‌باشند. این فرایند هنگامی که خاک دارای بافت سیلتی، مرطوب و فاقد پوشش برف و یا پوشش متراکم گیاهی باشد، بسیار شدید بوده می‌تواند سبب کاهش استقرار یونجه (شکل ۱۹-۷)، بعضی شبدرها و سه‌پر^۴ (شبدر وحشی) گردد.

یخ‌زدن می‌تواند سبب ورآمدن پی‌های کم عمق، جاده‌ها و باندهای پرواز که دارای مواد ریزبافت در زیر می‌باشند، گردد. سنگ‌ریزه و شن خالص معمولاً در مقابل خسارات ناشی از یخ‌زدن مقاومت دارند، اما خاک‌های سیلتی و شنی با مقادیر اندک از ذرات ریز مخصوصاً حساس می‌باشند، خاک‌های بسیار غنی از رس معمولاً ورایش زیادی از خود بروز نمی‌دهند، اما جداسازی ناشی از عدسی‌هایی یخی می‌تواند در اینجا نیز صورت گرفته و منجر به کاهش مقاومت هنگام ذوب شدن یخ گردد. برای جلوگیری از دمای یخ‌زدن، ریشه‌پی‌ها (و هم‌منظور لوله‌های آب) باید در پایین‌تر از حداکثر عمق یخ‌زدن قرار گیرند. این دامنه از ۱۰ سانتی‌متر در مناطق نیمه‌گرمسیر مانند تگزاس جنوبی و فلوریدا تا بیشتر از ۲ متر در اقلیم خیلی سرد متغیر است.

خاک‌های دارای عدسی‌های یخی ممکن است دارای آبی بیشتر از آنچه که برای اشباع خاک در حالت یخ‌زده لازم است باشند. وقتی عدسی‌ها یخی ذوب می‌شوند خاک فوق اشباع گردد، زیر آب اضافی، به دلیل یخ‌زدن لایه‌های تحتانی نمی‌تواند از خاک خارج شود. خاک در این حالت به آسانی به صورت گل غیرچسبنده در آمده که بسیار به فرسایش و لغزش گلی حساس می‌باشد.

گرم شدن خاک به وسیله آتش‌سوزی

آتش‌سوزی یکی از مهم‌ترین عوامل به هم‌زدن بوم‌سامان در طبیعت می‌باشد. علاوه بر اثرات آشکار آتش‌سوزی‌های جنگل، مرتع و پسمانده‌های گیاهی در سطح زمین ممکن است تغییرات کوتاه اما شدید دما در بعضی مواقع دارای اثرات طولانی‌مدت باشد بالارفتن دما معمولاً خیلی کوتاه و محدود به چند سانتی‌متر فوقانی خاک است، مگر این که آتش‌سوزی به‌طور مصنوعی و با اضافه کردن سوخت تداوم داشته باشد. حرارت ممکن است در تخریب و حرکت ترکیبات آلی مؤثر باشد. شکل ۲۰-۷ نتایج یکی از این آتش‌سوزی‌های سرکش را بر جنگل کاج در ایالت اورگن نشان می‌دهد. دماهای بالا (بیشتر از ۱۲۵ درجه سانتی‌گراد) سبب تقطیر بخش‌های مختلف ماده‌ی آلی شده و بعضی

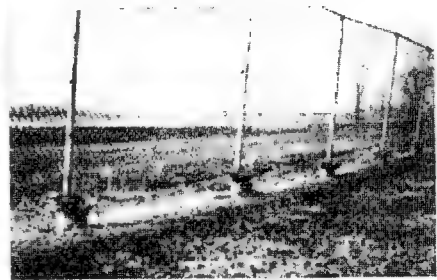
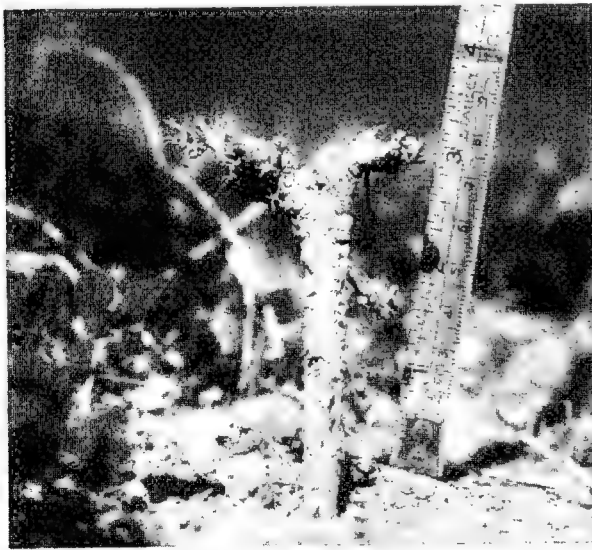
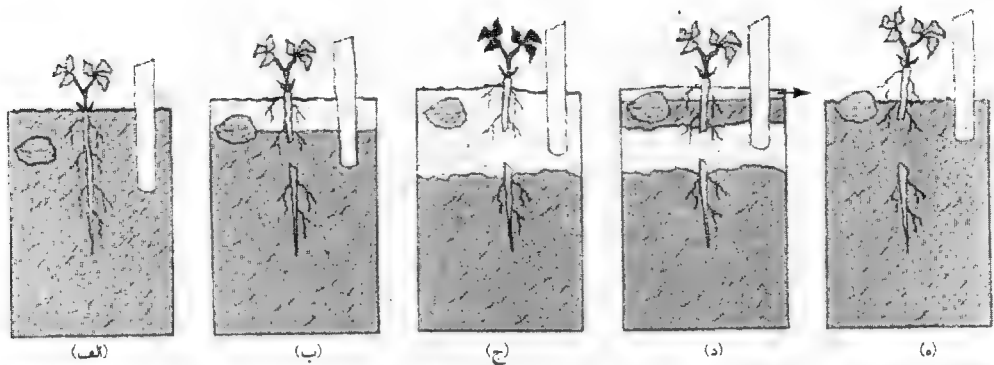
^۱ - Solarization

^۲ - فشار عمدتاً در اثر رشد عدسی‌های یخی است نه ۹ درصد انبساط حجم آب در اثر یخ‌زدن. عدسی‌های یخی با بیرون کشیدن آب از مناطق یخ زده مجاور منطقه یخ زده، رشد می‌یابد. جریان آب به عدسی‌های یخی در حالت رشد از این واقعیت ناشی می‌شود که ذرات ریز خاک با یک لایه نازک آب مایع (غیر یخ زده) با دماهای زیر نقطه معمول یخ‌زدن، پوشیده می‌شود. پایین آمدن نقطه یخ‌زدن به دو دلیل صورت می‌گیرد ۱- تعامل آب و بخش جامد نزدیک سطح ذرات و ۲- حضور یون‌های محلول و قابل تبادل در داخل این لایه نازک آب

^۳ - Frost heaving

^۴ - Trefoil

از ترکیبات فرار هیدروکربن به سرعت در داخل خاک به مناطق عمیق تر و سردتر حرکت می کنند. با رسیدن این ترکیبات به ذرات سردتر در اعماق خاک، بر روی آن ها متراکم شده (سخت شدن)^۱ و بعضی از منافذ اطراف را پر می کنند. بعضی از این مواد متراکم شده، هیدروکربن های دافع آب (آب گریز) می باشند. در نتیجه وقتی باران می بارد، نفوذ آب حتی در یک خاک شنی در مقایسه با خاک شنی مجاور فاقد آتش سوزی به مقدار زیادی کاهش می یابد. این اثرات دمای خاک در اراضی بوته زار^۲ در مناطق نیمه خشک معمول بوده و ممکن است عامل لغزش های گلی مصیبت باری باشد که در صورت اشباع لایه فوقانی منطقه ی آب گریز صورت می گیرد.

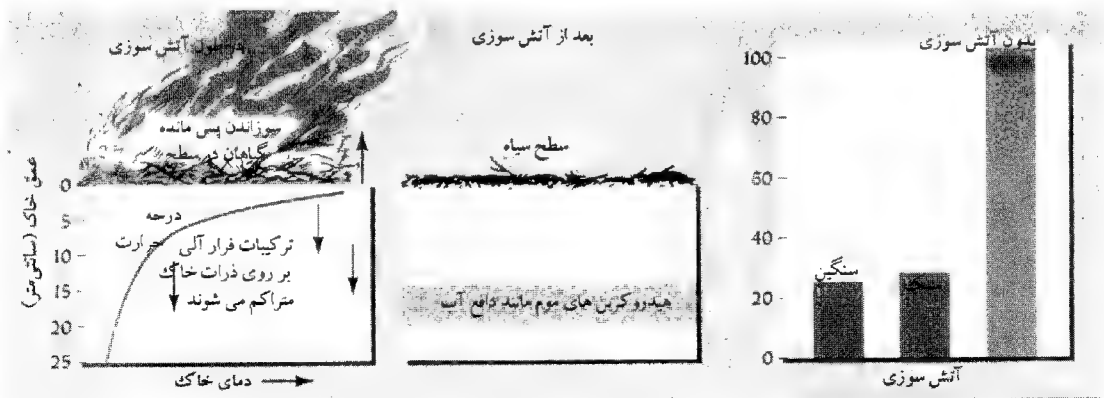


شکل ۷-۱۹ چگونه ویرآمدن یخی سبب بالا آمدن اشیاء می شود. (الف) موقعیت اشیاء (سنگ، نبات و پایه ی حصارکشی) قبل از یخ زدن خاک. (ب) به محض تشکیل عدسی های یخی در خاک یخ زده بر اثر جذب آب از خاک یخ زده زیر، خاک یخ زده در اطراف بخش فوقانی جسم محکم می شود و تا اندازه ای آن را بلند می کند، به طوری که برای بریدن ریشه نباتات کافی می باشد. (ج) با پیشرفت تشکیل عدسی های یخی و با توسعه ی عمیق تر جبهه یخ، جسم به طرف بالا بلند می شود. (د) همانند یخ زدن ذوب یخ از سطح آغاز و به طرف پایین پیشرفت می کند، آب از ذوب عدسی های یخی در سطح جاری می شود زیرا نمی تواند از داخل خاک یخ زده به طرف پایین زه کشی شود. سطح خاک در حالی که جسم ویرآمده در اثر یخ زدن بخش های پایین خود به صورت قائم می باشد. نشست می کند. (ه) بعد از ذوب شدن کامل، سنگ به سطح خاک نزدیک تر از قبل است (گرچه به ندرت در سطح قرار می گیرد مگر اینکه فرسایش در خاک ذوب شده انجام گیرد) و بخش فوقانی ریشه بریده شده نبات ظاهر می شود. به طوری که احتمال دارد که نبات از بین برود. (و) ریشه ی یونجه که بر اثر عمل یخبندان از خاک بیرون آمده است. (ز) تیرهای حصارکشی که در بتن قرار گرفته و به طور مرتب به وسیله ی عمل یخبندان طی چند سال بلند شده اند.

^۱ - Solidify

^۲ - Chaparral land

آتش‌سوزی‌ها همچنین در جوانه‌زدن بذوری خاص که دارابودن پوسته سخت مانع از جوانه‌زنی می‌باشند (مگر این‌که تا دمای ۸۰-۷۰ درجه سانتی‌گراد گرم شوند) مؤثرند. از طرف دیگر، سوزاندن کاه و کلش در مزارع گندم دمای مشابهی در خاک ایجاد نموده، با این تفاوت که سبب ازبین‌رفتن بذور و اکثر گیاهان هرز در نزدیک سطح شده، و در نتیجه سبب کاهش شدید آلودگی گیاهان هرز در فصل آبی می‌گردد. گرما و خاکستر ممکن است چرخه‌ی عناصر غذایی را تسریع کنند (فصل ۱۶ مشاهده کنید). آتش‌سوزی‌هایی که برای پاک کردن اراضی و بقایای تنه درختان ایجاد می‌شوند ممکن است چنان طولانی‌تداوم داشته و دمای آن بالا باشد که سبب تخلیه‌ی شدید ماده‌ی آلی و ازبین‌رفتن بسیاری از موجودات خاکزی گردد، به‌طوری‌که از رشد مجدد جنگل ممانعت کند.



شکل ۷-۲۰ (سمت چپ عکس) آتش‌سوزی در یک جنگل کاج سبب گرم‌شدن لایه‌ی سطحی یک خاک شنی (انسیپتوسول) در ایالت اورگون شده است. (وسط عکس) توجه کنید که دما در نزدیک خاک چنان بالا رفته است که برای فرار ترکیبات آلی کفایت می‌کند، بعضی از این ترکیبات داخل خاک به پایین حرکت کرده و در سطح ذرات سردتر خاک تمرکز می‌یابند. این ترکیبات متراکم شده هیدروکربن‌های موم‌مانند بوده و دافع آب می‌باشند در نتیجه (سمت راست) نفوذ در داخل خاک به‌طور شدید کاهش یافته و برای مدت حداقل ۶ سال همین‌طور باقی می‌ماند.

۷-۱۰ جذب و هدررفت انرژی خورشیدی

دمای خاک‌ها در مزرعه به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم حداقل وابسته به سه عامل می‌باشد (۱) مقدار انرژی گرمایی خالص که خاک جذب می‌کند. (۲) مقدار انرژی گرمایی لازم برای تغییر مورد نظر در دمای خاک و (۳) انرژی لازم برای فرایندهایی مانند تبخیر که به‌طور دایم در سطح و یا نزدیکی سطح خاک صورت می‌پذیرد.

تابش خورشیدی^۱: منبع اصلی انرژی گرم‌کننده‌ی خاک است، اما ابرها و ذرات گرد و غبار سبب ممانعت از اشعه‌ی آفتاب شده اکثر انرژی آن را بخش، جذب و یا منعکس می‌کنند (شکل ۷-۲۱) فقط حدود ۳۵ تا ۴۰ درصد تابش خورشیدی در مناطق مرطوب ابر، و ۷۵ درصد تابش در مناطق خشک فاقد ابر در واقع به سطح زمین می‌رسد میزان دریافت میانگین جهانی ۵۰ درصد است.

بخش اندکی از انرژی آفتاب که به زمین می‌رسد در واقع صرف گرم‌شدن خاک می‌شود. انرژی اساساً برای تبخیر آب: ساک و یا سطوح برگ‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، و به‌صورت تابش و بازتاب به آسمان باز می‌گردد. فقط حدود ۱۰ درصد جذب خاک شده و می‌تواند برای گرم‌شدن آن مورد استفاده قرار گیرد. با وجود انرژی مزبور دارای اهمیت حیاتی برای فرایندهای خاک و سایر نیاکان عالی در حال رشد بر روی آن می‌باشد.

بازتاب^۲: بخشی از تابش خورشید که به‌وسیله‌ی سطح خاک برگشت می‌یابد بازتاب نام دارد و از ۰/۱ تا ۰/۲ در خاک‌های تیره با سطوح ناهموار تا ۰/۵ در خاک صاف با رنگ روشن متغیر است. پوشش گیاهی نیز بر بازتاب سطحی، بسته به این‌که دارای رنگ سبز تیره، در حال رشد و یا زرد و در حال خواب باشد مؤثر است.

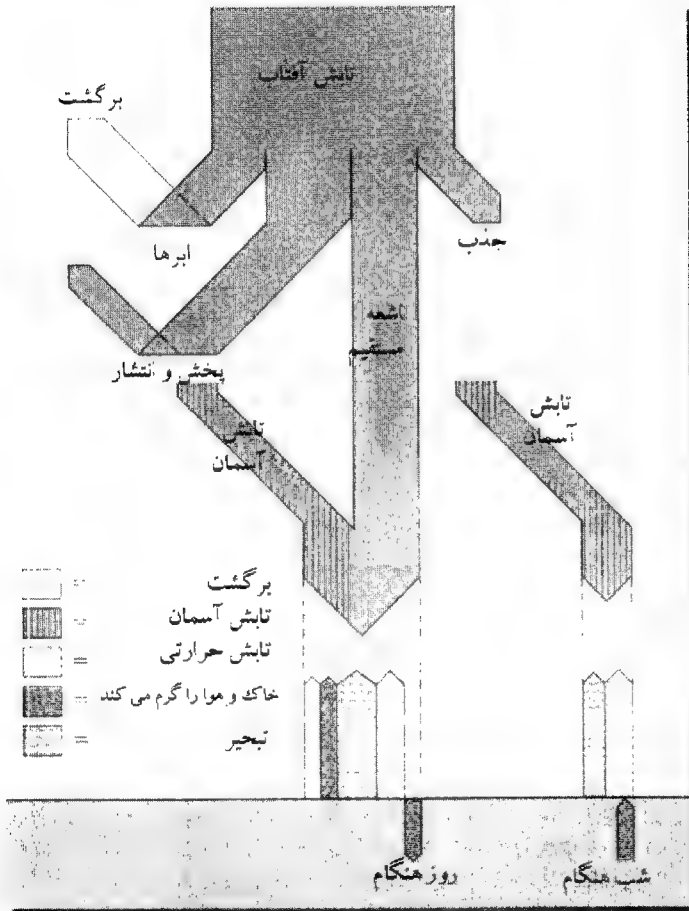
این واقعیت که خاک‌های سیاه‌رنگ انرژی بیشتری از خاک‌های روشن دریافت می‌دارند، همیشه به این معنی نیست که خاک‌های سیاه همیشه گرم‌تر می‌باشند در واقع عکس آن صادق است. در اکثر چشم‌اندازها خاک سیاه در نقاط پست واقع شده و رطوبت اضافی سبب

^۱ - Solar radiation

^۲ - Albedo

تمرکز مادی آلی گردیده است. بنابراین خاک‌های سیاه معمولاً مرطوب‌ترین نیز می‌باشند. آب موجود در این خاک‌ها برای گرم شدن، انرژی زیادی می‌خواهد و هنگام تبخیر نیز سبب خنک‌شدن خاک می‌گردد.

جبهه‌ی شیب: زاویه‌ای که اشعه‌ی آفتاب تحت آن به سطح خاک برخورد می‌کند در دما خاک مؤثر است. اگر آفتاب در وسط آسمان بالای سر باشد مسیر اشعه‌های وارده عمود بر سطح خاک بوده و جذب انرژی (و افزایش دمای خاک) بیشترین مقدار می‌باشد. (شکل ۲۲-۷). برای نمونه، سه خاک، یکی در شیب جنوبی با زاویه شیب ۲۰ درجه، دومی در یک مزرعه نسبتاً مسطح و سومی در یک شیب شمالی با زاویه‌ی ۲۰ درجه، میزان انرژی حاصل از اشعه آفتاب را در ۲۱ ژوئن در مدار ۴۲ درجه‌ی شمالی به نسبت ۸۰:۱۰۰:۱۰۶ دریافت می‌دارند. اثر جهت شیب و یا جبهه شیب بر روی گونه‌های جنگلی در عکس شکل ۲۲-۷ تشریح شده است.

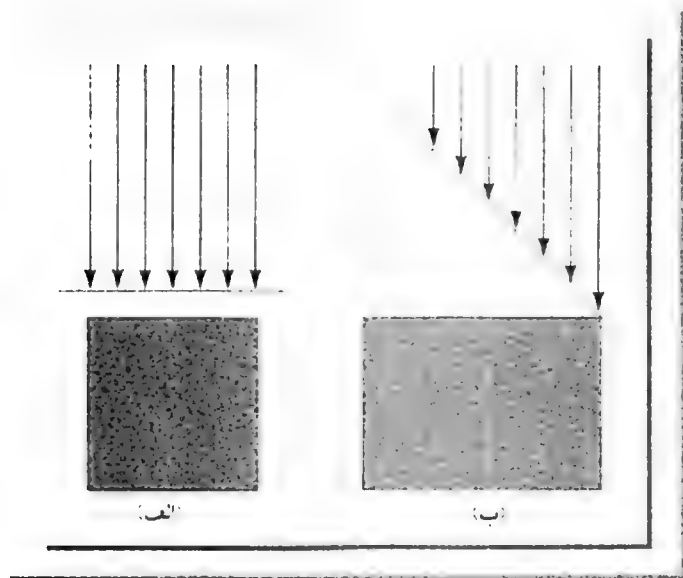


شکل ۲۱-۷ نمایش تعادل تابش در روز هنگام و شب هنگام در بهار و اول تابستان در یک منطقه‌ی معتدل. حدود نصف تابش خورشیدی چه به صورت مستقیم و چه به صورت غیرمستقیم از طریق تابش آسمانی به زمین می‌رسد. بیشتر انرژی رسیده به خاک در روز هنگام صرف تبخیر و تعرق گردیده، و یا به صورت تابش به نیوار باز می‌گردد. فقط بخش کوچکی شاید ۱۰ درصد در واقع سبب گرم‌شدن خاک می‌شود. در شب خاک مقداری گرما از دست داده و مقداری نیز تبخیر و تابش گرمایی صورت می‌گیرد.

کشت گیاهان در روی پشته‌های خاکی روشی برای تنظیم جبهه‌ی شیب در مقیاس کوچک می‌باشد. این عمل به طور بسیار مؤثری در ارتفاعات بالا با کشت محصولات در جبهه‌های رو به جنوب و یا جنوب غربی پشته انجام می‌گیرد. پشته‌ها باید فقط ۲۵ سانتی‌متر ارتفاع داشته تا دارای اثرات عمده آشکار گردند. در منطقه فایر بانک^۱ آلاسکا دما خاک در وسط روز (در عمق ۱ سانتی‌متر) در اول ماه مه در جبهه جنوبی حدود ۱۵ درجه‌ی سانتی‌گراد از جبهه شمالی و ۸ درجه از زمین مسطح بیشتر است.

بارندگی: اثرات مربوط به بارندگی و آبیاری در دمای خاک نیز باید مورد توجه قرار گیرد. برای مثال در مناطق معتدل، باران‌های بهاره با ورود آب باران به داخل خاک سبب گرم شدن خاک سطحی می‌شود. برعکس از آنجا که بارندگی در تابستان خنک‌تر از خاکی است که در داخل آن انتشار می‌یابد، سبب خنک‌شدن خاک می‌شود. هرچند در بارندگی‌های بهاره، افزایش میزان انرژی مصرف شده برای تبخیر آب خاک اغلب سبب تشدید مسایل ناشی از دمای پایین می‌شود.

^۱ - Fair bank



شکل ۷-۲۲ (بالا) تأثیر زاویه برخورد اشعه‌ی آفتاب با خاک بر روی سطحی از خاک که گرم می‌شود. (الف) اگر مقدار به‌خصوصی تابش آفتاب با زاویه‌ی راست به خاک برخورد کند. تابش در یک منطقه کوچکی متمرکز خواهد شد و خاک به‌سرعت گرم خواهد شد. (ب) اگر همان تابش با زاویه‌ی ۴۵ درجه به خاک برخورد کند سطح منطقه تحت تأثیر حدود ۴۱ درصد افزایش خواهد یافت و تابش به اندازه حالت اول متمرکز نشده و خاک به آرامی گرم خواهد شد این یکی از دلایلی است که چرا شیب‌های شمالی خاک‌های سردتری در مقایسه با خاک‌های شیب‌های جنوبی دارند و همین مسأله دلیل سرد بودن خاک در زمستان در مقایسه با تابستان می‌باشد. (پایین) یک منظره رو به شرق در یک منطقه جنگلی ایالت ویرجینا که اثر دما را تشریح می‌کند. برجستگی اصلی (از چپ به راست) در امتداد شمال به جنوب و برجستگی‌های کوچک کناری از شرق به غرب کشیده شده‌اند. (بالا و پایین) لکه‌های سیاه در این جنگل که درختان سخت‌چوب برگ‌ریزان غلبه دارند، کاج می‌باشند. کاج‌ها در شیب‌های جنوبی (گرم و خشک) در برجستگی‌های شرقی غربی غالب می‌باشند.

پوشش خاک : عریان‌بودن خاک و یا داشتن پوشش گیاهی، خاک‌پوش و یا برف عامل دیگری است که بر روی تابش خورشیدی رسیده به خاک بسیار مؤثر است. خاک‌های فاقد پوشش با سرعت بیشتری از خاک‌های دارای پوشش (نباتی، برف و خاک‌پوش پلاستیکی) گرم شده و گرمای خود را از دست می‌دهند. نفوذ یخبندان در ماه‌های زمستان در اراضی عریان و فاقد پوشش عایق به مراتب بیشتر است.

حتی گیاهان دارای رشد کند مانند چمن دارای تأثیر قابل توجهی بر دمای خاک و دمای محیط اطراف می‌باشند (جدول ۶-۷). بسیاری از اثرات خنک‌کننده این گیاهان به‌خاطر گرمای از دست رفته بر اثر تعرق می‌باشد. برای تجربه کردن این اثر در یک روز گرم داغ، به‌جای یک چمن سبز در حال رشد بر روی آسفالت توقف‌گاه بنشینند.

اثرات یک جنگل متراکم در مقیاس جهانی شناخته شده است، عملیات برداشت جنگل که پوشش کافی برای ایجاد ۵۰٪ سایه باقی گذارد. از گرم شدن بی‌رویهی خاک که سبب تسریع تجزیه ماده‌ی آلی و یا آغاز فعالیت غیرهوازی در خاک مرطوب می‌شود ممانعت می‌کند. اثر برداشت الوار بر دمای خاک تا عمق ۵۰ سانتی‌متر در جدول ۷-۲ قابل مشاهده است. در موردی که در جدول ۷-۲ عرضه شده است، برداشت درخت سبب گرم شدن خاک در بهار گردید، گرچه میزان آب خاک را نیز بالا برد. هرچند، همان‌طور که ما در فصل بعد مشاهده خواهیم کرد، میزان آب بیشتر خاک به‌طور معمول سبب کندی گرم شدن خاک در بهار گردد.

۱۱-۷ خصوصیات گرمایی خاک‌ها

گرمای ویژه خاک‌ها

یک خاک خشک با سهولت بیشتری در مقایسه با خاک مرطوب گرم می‌شود، و این به‌دلیل مقدار انرژی لازم بیشتر جهت بالا بردن دمای آب به‌میزان یک درجه‌ی حرارت سانتی‌گراد (گرمای ویژه‌ی آب) در مقایسه با بالا بردن دمای همان مقدار مواد جامد خاک به‌میزان یک درجه‌ی سانتی‌گراد می‌باشد. وقتی ظرفیت حرارتی در واحد جرم بیان شود مثلاً کالری در گرم به آن گرمای ویژه اطلاق می‌گردد. گرمای ویژه آب خالص یک کالری در گرم و یا هزار کالری در کیلوگرم ($\frac{4}{18}$ ژول در گرم)، و گرمای ویژه‌ی خاک خشک $\frac{1}{2}$ کالری در گرم می‌باشد. گرمای ویژه، میزان گرم شدن خاک را در بهار تا حد زیادی اداره می‌کند، خاک‌های مرطوب‌تر، آهسته‌تر از خاک‌های خشک، گرم می‌شوند (تابلو ۷-۲ را مشاهده کنید). به‌علاوه اگر آب آزادانه از خاک مرطوب زه‌کشی نشود باید تبخیر گردد، فرایندی که همان‌طور که در فصل بعد مشخص خواهد شد، مصرف‌کننده انرژی زیادی می‌باشد.

جدول ۶-۷ دمای حداکثر سطح برای چهار نوع سطح در یک روز آفتابی در کالج استیشن^۱ در تگزاس

نوع سطح		بیشینه‌ی دما سانتی‌گراد	
		روز	شب
چمن سبزرنگ در حال رشد		۳۱	۲۴
خاک بدون پوشش خشک		۳۹	۲۶
علف در حال خواب تابستانی قهوه‌ای رنگ		۵۲	۲۷
چمن ورزشی مصنوعی خشک		۷۰	۲۹

نظام‌های تنظیم دما که به‌عنوان پمپ‌های گرمایی مشهورند^۲ که هم برای گرم کردن و هم برای سرد کردن ساختمان‌ها طراحی می‌شوند، از گرمای ویژه‌ی بالای خاک‌ها استفاده می‌کنند. یک شبکه از لوله‌ها در زیر زمین نزدیک ساختمان تعبیه می‌شوند تا در حداکثر تبادل گرمایی تماسی، با خاک گرم و یا سرد شوند. با بهره‌گیری از این واقعیت که خاک‌های تحت‌الارضی معمولاً در زمستان گرم‌تر از نیوار و در تابستان سردتر از آن می‌باشند، آبی که در داخل شبکه در گردش است حرارت را از خاک در طول زمستان جذب کرده و در تابستان حرارت خود را از دست می‌دهد. گرمای ویژه‌ی بالای خاک امکان تبادل انرژی زیادی را بدون تغییر دمای خاک، به مقدار زیاد امکان‌پذیر می‌سازد. (شکل ۲۳-۷).

^۱ - College station

^۲ - Heat pumps



شکل ۲۳-۷ این دبیرستان در ایالت اکلاهما در داخل زمین ساخته شده و فقط یک طرف آن در زمین آشکار است. این طرح از گرمای ویژه‌ی بالا و هدایت گرمای پایین لایه‌های خاک اطراف ساختمان بهره گرفته و سبب گرم ماندن مدرسه در زمستان، و خنک ماندن آن در تابستان، با حداقل مصرف انرژی برای گرم کردن و یا سرد کردن گردد.

گرمای تبخیر

تبخیر آب از سطح خاک نیازمند انرژی زیادی می‌باشد، ۵۴۰ کیلوکالری و یا ۲۲۵۷ کیلوژول برای تبخیر هر کیلوگرم آب لازم است. این انرژی باید از تابش خورشیدی، و یا از خاک اطراف کسب گردد. در هر دو مورد، تبخیر دارای توان سرد کردن خاک است، همانند چاییدن شخصی که به دنبال شنا کردن با وزش باد مواجه شود.

برای مثال، اگر میزان آبی که در ۱۰۰ گرم خاک است بر اثر تبخیر از ۲۵ گرم به ۲۴ گرم کاهش یابد (حدود ۱٪ کاهش رطوبت) و اگر تمام انرژی گرمای مورد نیاز برای تبخیر از خاک مرطوب به دست آید، خاک حدود ۱۳/۵ درجه سانتی‌گراد سرد خواهد شد. البته این رقم فرضی است، زیرا فقط بخشی از گرمای تبخیر از خود خاک تأمین می‌شود، هر چند رقم بیانگر تأثیر سرسام‌آور تبخیر بر کاهش دماست. دمای پایین یک خاک مرطوب از یک طرف مربوط به تبخیر و از طرف دیگر مربوط به گرمای ویژه‌ی بالا است. دمای چند سانتی‌متر بالایی یک خاک خیس معمولاً ۳ تا ۶ درجه‌ی سانتی‌گراد پایین‌تر از یک خاک مرطوب و یا خشک می‌باشد. این مسأله عامل مهمی در بهار در یک منطقه معتدل است، زیرا فقط چند درجه حرارت می‌تواند سبب جوانه‌زدن و یا جوانه‌نزدن بذور گردیده، و یا آزادشدن و یا آزادنشدن عناصر غذایی از ماده‌ی آلی را به وسیله‌ی میکروب‌ها به دنبال داشته باشد.

هدایت گرمایی خاکها^۱

همان‌طور که در بخش ۷-۱۰ نشان داده شد، بخشی از تابش خورشیدی که به زمین می‌رسد عمدتاً به وسیله‌ی هدایت حرارتی به آهستگی در خاک رخ نفوذ می‌کند. این همان فرایندی است که به وسیله‌ی آن گرما در داخل یک لوله‌ی آهنی وقتی یک انتهای آن در آتش قرار می‌گیرد حرکت کند. حرکت گرما در خاک مشابه حرکت آب است (بخش ۵-۵ را مشاهده کنید). نرخ جریان به وسیله‌ی یک نیروی پیش‌برنده و سهولت جریان گرما در داخل خاک تعیین می‌شود، که به وسیله‌ی قانون فوریر مطابق زیر بیان گردد.

$$Q_h = k \cdot \Delta T / x$$

که در آن Q_h میزان جریان گرما، و یا مقدار گرمایی است که از واحد سطح مقطع جریان در واحد زمان عبور می‌کند. k عبارت است از هدایت گرمایی خاک و $\Delta T/x$ عبارت است از شیب دمایی در فاصله‌ی x که به عنوان نیروی پیش‌برنده هدایت گرما عمل می‌کند.

هدایت گرمایی (k) خاک تحت تأثیر تعدادی از عوامل است که مهم‌ترین آن‌ها میزان آب خاک و تراکم آن است، عبور گرما از داخل آب چندین بار سریع‌تر از عبور آن از هوا است. وقتی میزان آب خاک افزایش می‌یابد میزان هوا کاهش یافته و مقاومت به انتقال گرما به گونه‌ای چشم‌گیر پایین می‌آید. وقتی که آب کافی برای ایجاد پل ارتباطی بین اکثر ذرات خاک موجود باشد، آب اضافی اثر کمی بر هدایت گرمایی دارد. حرارت از داخل ذرات معدنی حتی سریع‌تر از داخل آب حرکت می‌کند؛ بنابراین وقتی تماس ذره با ذره بر اثر تراکم خاک افزایش می‌یابد، میزان انتقال حرارت نیز فزون می‌گردد. بنابراین، یک خاک مرطوب متراکم فقیرترین عایق و یا بهترین هادی گرماست. در این‌جا نیز ارتباط داخلی خصوصیات خاک آشکار می‌شود.

یک خاک نسبتاً خشک یک عایق بسیار خوب را ایجاد می‌کند. ساختمان‌های ساخته شده عمدتاً در زیرزمین می‌توانند هم از هدایت گرمایی اندک و هم از ظرفیت گرمایی زیاد حجم عظیمی از خاک استفاده کنند (شکل ۷-۲۳).

درک اهمیت هدایت گرمایی در ارتباط با خاک‌های مزارع چندان مشکل نیست. هدایت گرمایی خاک وسیله‌ای برای تنظیم دما فراهم نموده اما از آن جا که کند می‌باشد، دمای خاک طبقات زیر از تغییرات طبقات سطحی عقب می‌ماند. به علاوه تغییرات دما در خاک تحت‌الارض اندک می‌باشد. به‌طور کلی در مناطق معتدل انتظار بر این است که خاک‌های سطحی در تابستان گرم‌تر و در زمستان سردتر از خاک‌های تحت‌الارض، به خصوص طبقات زیرین آن باشند. هدایت گرمایی خاک می‌تواند در دمای هوای بالای آن همان‌طور که در شکل ۷-۲۴ آمده است، مؤثر باشد.

نوسانات دمای خاک

دمای خاک در هر زمان وابسته به نسبت انرژی جذب شده به انرژی مصرف شده می‌باشد. تغییرات ثابت در این رابطه در دمای فصلی، ماهانه و روزانه منعکس شده است. اطلاعات موجود (شکل‌های ۷-۲۵ و ۷-۲۶) در کالج استیشن در ایالت تگزاس و لینکلن در ایالت نبراسکا، معرف متوسط دمای فصلی و ماهانه در ارتباط با عمق خاک در مناطق معتدل نیمه‌مرطوب می‌باشد.

تغییرات عمودی و فصلی دما

از شکل‌های ۷-۲۵ و ۷-۲۶ آشکار است که تغییرات قابل توجه فصلی و ماهانه در دمای خاک، حتی در اعماق پایین صورت می‌گیرد. دمای سطح خاک کم و بیش در ارتباط با دمای هوا تغییر می‌کند. گرچه این لایه‌ها در تمام طول سال گرم‌تر از هوا می‌باشند. در خاک تحت‌الارضی، افزایش و کاهش دمای فصلی عقب‌تر از تغییرات ثبت شده در سطح و هوا است، در این ارتباط، دمای ماه مارس در کالج استیشن مطرح می‌کند در حالی که دمای سطح خاک به گرم شدن در بهار از قبل عکس‌العمل نشان داده است، دمای خاک تحت‌الارض عمیق هنوز به هوای سرد زمستانه عکس‌العمل نشان می‌دهد.

دمای تحت‌الارض از دمای هوا و خاک سطحی کمتر متغیر است، هرچند تغییرات دمایی چندی نیز در عمق ۳ متری وجود دارد. این خاک‌های تحت‌الارض معمولاً نسبت به خاک‌های سطحی و هوا در آخر پاییز و زمستان گرم‌تر و در بهار و تابستان خنک‌تر می‌باشند. این مسأله قابل انتظار است، زیرا تحت‌الارض مستقیماً در معرض تابش آفتاب قرار ندارد.

¹-Thermal conductivity

تابلو ۷-۲ محاسبه‌ی گرمای ویژه و یا ظرفیت گرمایی (گرما گنجی) یک خاک مرطوب

میزان آب خاک به‌طوری آشکار در تغییرات دما، از طریق اثر آن بر گرمای ویژه و یا بر ظرفیت گرمایی خاک مؤثر است. برای نمونه، دو خاک با خصوصیات مشابه، خاک (الف) یک خاک نسبتاً خشک حاوی ۱۰ درصد آب در ذرات جامد خاک و خاک (ب) یک خاک مرطوب‌تر با ۳۰ گرم آب در ۱۰۰ گرم ذرات جامد خاک را مورد نظر قرار دهید، گرمای ویژه آب و خاک معدنی خشک را به ترتیب ۱ و ۰/۲ کالری در گرم فرض کنید.

در خاک (الف) با ۱۰ گرم آب در ۱۰۰ گرم خاک خشک و یا ۱/۱ گرم در ۱۰۰ گرم خاک خشک، میزان کالری لازم برای افزایش دمای ۰/۱ گرم آب به مقدار یک درجه‌ی سانتی‌گراد عبارتست از:

$$\text{کالری} = ۰/۱ \times \text{کالری/گرم} \times ۱ \text{ گرم} = ۰/۱$$

همین‌طور کالری لازم برای ۱ گرم خاک خشک به مقدار یک درجه سانتی‌گراد عبارتست از:

$$\text{کالری} = ۰/۲ \times \text{کالری/گرم} \times ۱ \text{ گرم} = ۰/۲$$

بنابراین جمعاً ۰/۳ کالری (۰/۲ + ۰/۱) برای افزایش دمای ۱/۱ گرم (۱ + ۰/۱) خاک مرطوب به مقدار یک درجه سانتی‌گراد لازم می‌باشد. از آنجایی که گرمای ویژه عبارتست از مقدار کالری برای افزایش دمای یک گرم خاک مرطوب به مقدار یک درجه سانتی‌گراد، گرمای ویژه‌ی خاک الف طبق رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$\text{گرم/کالری} = ۰/۲۷۳ = ۰/۳ / ۱/۱ = \text{گرمای ویژه خاک (الف)}$$

این محاسبات می‌تواند به‌وسیله‌ی یک معادله ساده برای محاسبه‌ی معدل وزنی گرمای ویژه‌ی مخلوطی از مواد بیان گردد:

$$C = \frac{C_1 m_1 + C_2 m_2}{m_1 + m_2}$$

که در آن C_1 و m_1 به ترتیب عبارتند از گرمای ویژه و جرم و حجم ماده ۱ (در مورد مثال بالا خاک معدنی خشک) و C_2 و m_2 عبارتند از گرمای ویژه و جرم ماده ۲ (در مورد مثال بالا آب). با استعمال این رابط در مورد خاک (الف) مجدداً رقم ۰/۲۷۳ را برای گرمای ویژه به‌دست می‌آوریم.

$$C = \frac{\text{گرم} \times ۰/۱ \times \text{کالری/گرم} + ۱ \text{ گرم} \times ۰/۲ \text{ کالری/گرم}}{۰/۱ \text{ گرم} + ۱ \text{ گرم}} = ۰/۲۷۳ \text{ کالری/گرم (الف)}$$

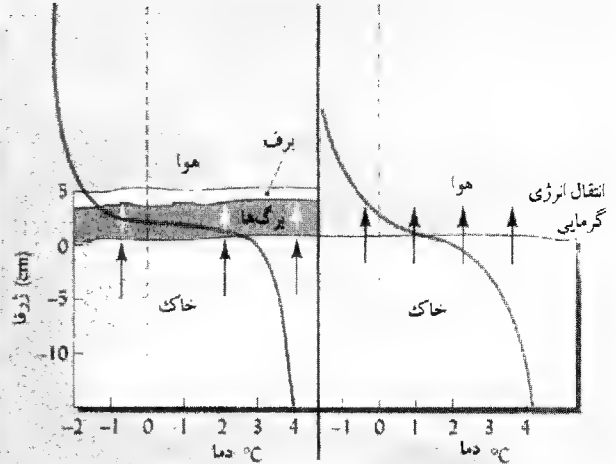
با همین روش گرمای ویژه خاک مرطوب‌تر (ب) را به‌شرح زیر تعیین می‌کنیم:

$$C = \frac{(\text{گرم} \times ۰/۳ \times \text{کالری/گرم} + ۱ \text{ گرم} \times ۰/۲ \text{ کالری/گرم})}{۰/۳ \text{ گرم} + ۱ \text{ گرم}} = ۰/۳۵۸ \text{ کالری/گرم (ب)}$$

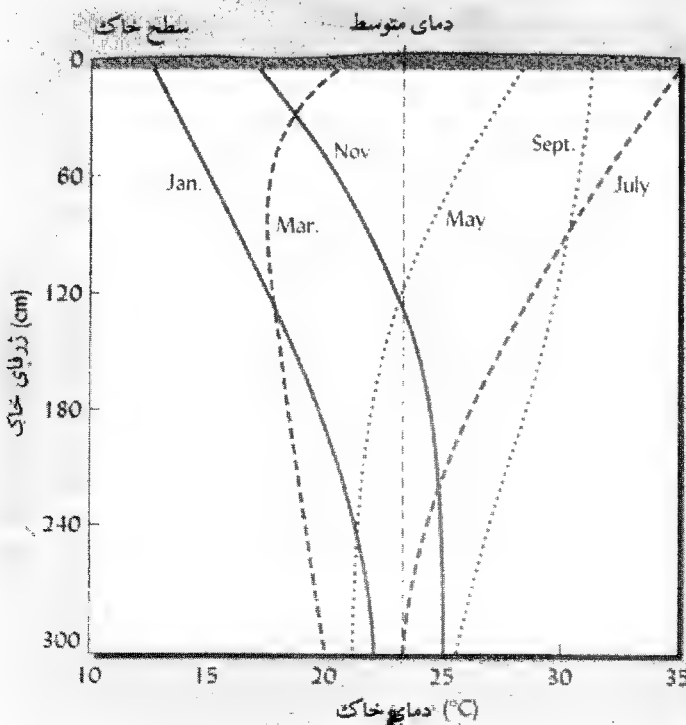
خاک مرطوب (ب) دارای گرمای ویژه ۰/۳۸۵ کالری بر گرم است درحالی‌که خاک خشک‌تر (الف) دارای گرمای ویژه ۰/۲۷۳ کالری در گرم است، از آنجاکه خاک ب باید ۰/۱۱۲ کالری بیشتر (۰/۳۸۵ - ۰/۲۷۳) از تابش خورشیدی برای افزایش یک درجه حرارت در هر گرم دریافت دارد. خاک مرطوب بسیار کندتر از خاک خشک گرم می‌شود.

تغییرات روزانه

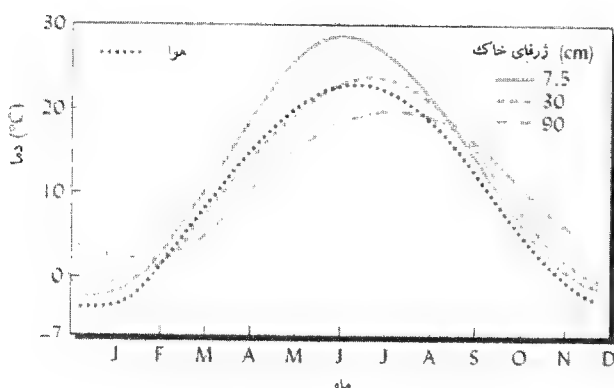
در یک آسمان صاف، دمای هوا در مناطق معتدل از کمترین مقدار در صبح تا بیشترین مقدار در ساعت ۲ بعدازظهر بالا می‌رود. گرچه دمای خاک سطحی به‌دلیل تأخیر در گرم‌شدن، تا عصر به حداکثر مقدار خود می‌رسد. این تأخیر با افزایش عمق بیشتر بوده و تغییرات دما کمتر می‌باشد. طبقات پایین تحت‌الارض نوسانات روزانه و هفتگی کمتری را نشان می‌دهند؛ در تحت‌الارض تغییرات دما به‌طور ماهانه و فصلی، همان‌طور که قبلاً نیز تأکید گردید، آرام است.



شکل ۲۴-۷ انتقال انرژی گرمایی از خاک به هوا. این عکس که از بالا در یک مزرعه به دنبال بارش برف زودهنگام گرفته شده است، نشان‌دهنده برف پرروی خاک پوش برگه بستر گل‌ها می‌باشد. درحالی‌که در مناطقی که خاک فاقد پوشش است و یا دارای چمن نازک است، برف دیده نمی‌شود. دلیل این تراکم غیریکنواخت برف را می‌توان در نیمرخ دمای خاک مشاهده کرد. لایه‌هایی که گرمای آفتاب را ذخیره کرده‌اند با کاهش دما در پاییز (این مسأله در طول شب برای سایر فصول نیز صادق است) اغلب گرم‌تر از هوا می‌باشند در خاک فاقد پوشش، انرژی گرمایی از لایه‌های پایین به سرعت به سطح انتقال می‌یابد. میزان انتقال با افزایش رطوبت و تراکم خاک که سبب افزایش هدایت گرمایی (گرماسازی) خاک می‌باشد ارتقاء می‌یابد. در نتیجه سطح خاک و هوای بالای آن بالاتر از نقطه انجماد گرم می‌شوند؛ بنابراین، برف آب شده تراکم نمی‌یابد. خاک پوش برگه که دارای هدایت گرمایی پایین است همانند یک پرده عایق عمل کرده و انتقال انرژی حرارتی ذخیره شده در خاک را به هوا کند می‌کند، سطح فوقانی خاک پوش بنابراین به سختی به وسیله خاک گرم شده و برف پیچزده و متراکم باقی می‌ماند. یک پوشش ضخیم برفی خود می‌تواند همانند یک پرده عایق عمل کند.



شکل ۲۵-۷ متوسط دمای ماهانه‌ی خاک در ۶ ماه از ۱۲ ماه در اعماق مختلف در کالیفرنیا (۱۹۵۱-۱۹۵۵) به تأخیر در تغییر در دمای خاک در اعماق پایین توجه کنید.



شکل ۷-۲۶- متوسط دمای ماهانه هوا و خاک در لینکلن نبراسکا (۱۲ سال). توجه داشته باشید که دمای لایه‌ی خاک در عمق ۷/۵ سانتی‌متر از هوای بالای آن به‌طور مداوم در طول سال بالاتر بوده، و افق ۹۰ سانتی‌متری در بهار و تابستان خنک‌تر اما در پاییز و زمستان گرم‌تر از خاک سطحی می‌باشد.

۷-۱۲ مدیریت دمای خاک

دمای خاک در مزارع تحت تأثیر تصمیمات شدید انسانی نمی‌باشد. هرچند دو نوع عملیات مدیریتی اثرات معنی‌داری را بر دمای خاک دارند: عملیاتی که از انواع پوشش و یا خاک‌پوش در روی خاک نگهداری می‌کند، و عملیاتی که سبب کاهش رطوبت اضافی خاک می‌شوند، این اثرات دارای کاربردهای زیستی معنی‌داری می‌باشند.

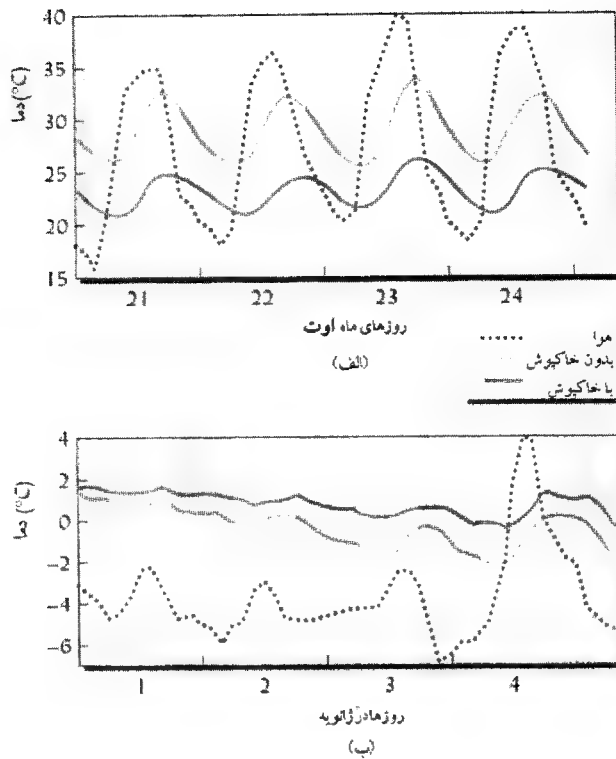
خاک‌پوش‌های آلی و مدیریت پس‌مانده‌های گیاهی

دمای خاک تحت تأثیر پوشش خاک، و به‌خصوص بقایای آلی و دیگر خاک‌پوش‌های موجود بر روی سطح خاک، می‌باشد. شکل ۷-۲۷ نشان می‌دهد که خاک‌پوش‌ها به‌طور مؤثری در مقابل تغییرات شدید دما مقاومت می‌کنند. در طول ایام گرم آن‌ها سطح خاک را سردتر، و بالعکس، در طول روزهای سرد، آن‌ها خاک را گرم‌تر از خاک مشابه نگهداری می‌کنند.

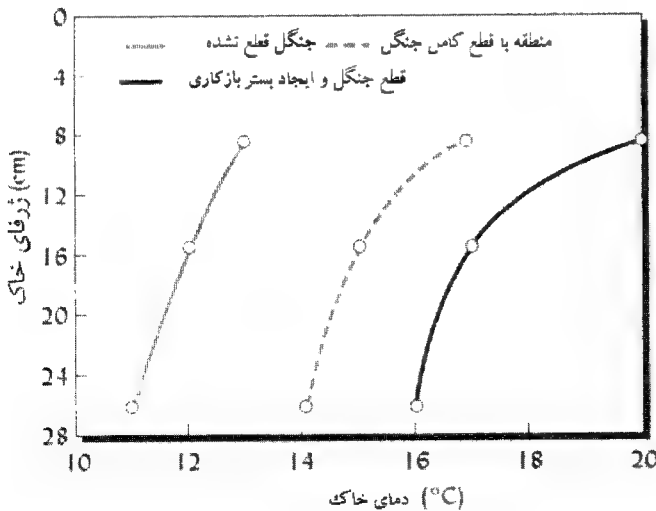
لاشبرگ جنگلی نمونه‌ای برجسته از یک خاک‌پوش طبیعی تغییردهنده دما است. بنابراین، تعجب‌آور نخواهد بود که عملیات برداشت الوار در رژیم دمایی خاک جنگلی تأثیر داشته باشد (شکل ۷-۲۸). به‌هم‌زدن خاک‌پوش برگی، تغییر در میزان آب به‌خاطر کاهش تبخیر و ترق، و تراکم خاک به‌وسیله ماشین‌آلات تماماً عواملی هستند که از طریق هدایت گرمایی (گرما رسانی) در دمای خاک مؤثر می‌باشند: کاهش سایه‌اندازی بعد از برداشت درختان سبب تابش خورشیدی بیشتری خواهد شد.

خاک‌پوش حاصل از خاک‌ورزی حفاظتی: تا نزدیکی همین اواخر، به‌خاطر هزینه‌های کارگری، حمل و پخش مواد خاک‌پوش استفاده از آن‌ها را عمدتاً محدود به مهار دمای شدید خاک در باغچه‌های خانگی و بستر گل‌ها می‌کرد، هرچند این استفاده هنوز مهم است. استفاده از خاک‌پوش‌ها در مناطقی که خاک‌ورزی حفاظتی تطابق یافته است، به محصولات مزرعه‌ای نیز تعمیم داده شده است. خاک‌ورزی حفاظتی اکثر و یا تمام پس‌مانده‌های گیاهی را در سطح و یا نزدیکی سطح باقی می‌گذارد، بنابراین به‌جای حمل خاک‌پوش به مزرعه، خاک‌پوش در آن‌جا تولید می‌شود. تأثیر بقایای سطحی بر روی دمای خاک به‌وسیله داده‌هایی در شکل ۷-۲۹ نشان داده شده است. دمای خاک تا عمق ۷۰ سانتی‌متری در نظام بدون خاک‌ورزی که تمام پس‌مانده‌های گیاهی را به‌صورت خاک‌پوش در سطح باقی می‌گذاشت در طول بهار و تابستان به‌طور مداوم از نظام خاک‌ورزی سستی پایین‌تر بود.

نکات مورد توجه در اقلیم سرد: درحالی‌که خاک‌پوش بیشترین تأثیر را بر روی مهار فرسایش ایفا می‌کند (۶-۱۷ بار شاهد کنید)، اثرات کاهش دما در بعضی از عملیات خاک‌پوش نتایج منفی شدیدی بر تولید محصولاتی مانند ذرت در اقلیم سرد مانند کانادا و آمریکای شمالی خواهد داشت. دمای پایین در ماه مه و اوایل ژوئن در نتیجه انجام این عملیات از جوانه‌زدن بذرها، استقرار بونه‌ها و اغلب عملکرد بالای ذرت ممانعت خواهد کرد. اثر خاک‌پوش پس‌مانده‌های گیاهی در پایین آوردن دمای حداکثر وسط روز بسیار برجسته بوده و اثر بسیار کمتری بر حداقل دمای شبانه خواهد داشت. این اثر با اطلاعات شکل ۷-۳۰ به‌خوبی تشریح شده است، این شکل یک روش نوین برای تخفیف این مشکل با کنارزدن بقایا در یک توار باریک بروی ردیف بذر در نظام بدون عملیات خاک‌ورزی نیز ارائه می‌دهد. روش دیگر برای حل این مسأله ایجاد پشته در خاک و میسر ساختن زه‌کشی آن و کشت بذر در بخش خشک‌تر و گرم‌تر بالای پشته (و یا بخش روبه جنوب پشته) می‌باشد.

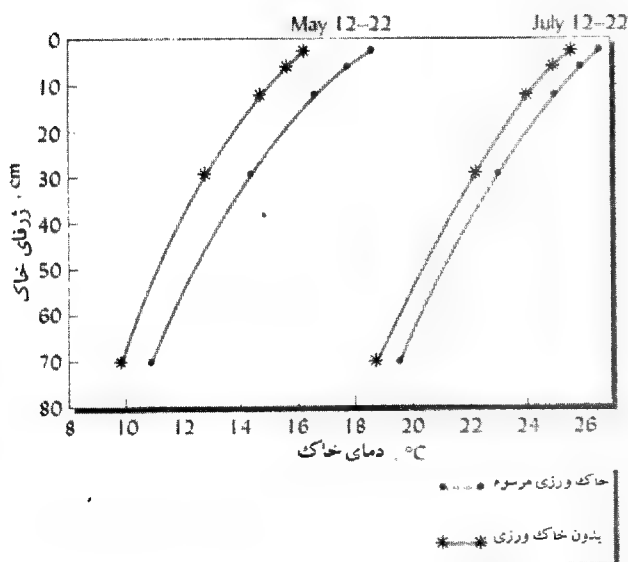


شکل ۲۷-۷ (الف) تأثیر خاکپوش گاه و گلش (۸ تن در هکتار) بر دمای هوای خاک در عمق ۱۰ سانتی متری در یک دوره گرم ماه اوت در بوشلند تگزاس، توجه داشته باشید که دمای خاک در مناطق خاکپوش دار به طور پایدار از مناطق فاقد خاکپوش پایین تر است (ب) در طول دوره سرد در ژانویه دما در مناطق دارای خاکپوش از منطقه فاقد خاکپوش بیشتر بود. ستون های سایه دار بیانگر شب هاست.

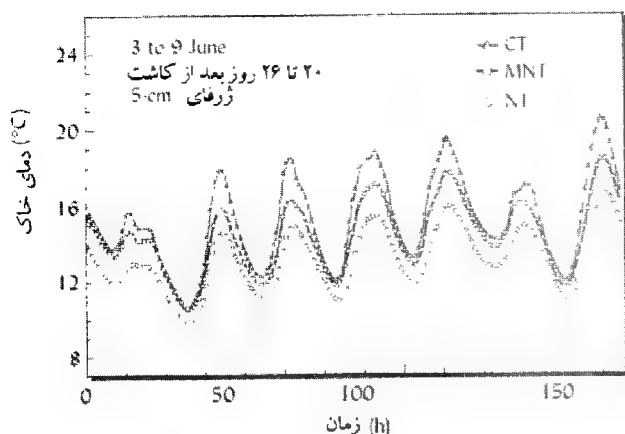


شکل ۲۸-۷ تأثیر برداشت الوار و آماده کردن محل کشت بر نیرخ دمایی خاک در ماه ژوئن در یک اراضی باتلاقی جنگلی در ایالت میسیگان. برداشت الوار به طریق کف برگردن سبب به هم زدن زیاد خاک و بالا رفتن دما به مقدار ۴ تا ۵ درجه سانتی گراد گردید. عملیات خاک ورزی برای ایجاد بستر برای بازکاری درختان سبب از بین رفتن لاشبرگ خاکپوش باقی مانده و خشک شدن خاک و بنابراین سبب بالا رفتن ۲ تا ۳ درجه سانتی گراد دیگر در خاک گردید. دمای بالا سبب افزایش میزان تجزیه ی ماده ی آلی گردید.

مزایا در اقلیم گرم: در مناطق گرم، تأخیر در کشت مسأله ای نیست. در واقع، ممکن است دمای خنک تر در نزدیکی سطح خاک در زیر یک خاکپوش تنش دمایی را بر ریشه ها در تابستان کاهش دهد. خاکپوش و پس مانده های گیاهی همچنین سبب ذخیره رطوبت خاک با کاهش تبخیر می شوند. لایه ی سطحی مرطوب خنک تر ایجاد شده بخش مهمی از نظام بدون عملیات خاک ورزی بوده است. زیرا امکان توسعه ریشه ها را در این منطقه که شرایط تغذیه ای و تهویه در حد بینه می باشد فراهم می کند.



شکل ۷-۲۹ تأثیر نظام خاک‌ورزی بر نیمرخ دمایی خاک در یک مزرعه‌ی گندم در ایالت داکوتای شمالی، در مقایسه با خاک فاقد خاک‌پوش که به‌طریق سستی شخم زده شده بود. خاک دارای خاک‌پوش بقایای سطحی که به‌وسیله‌ی نظام بدون عملیات خاک‌ورزی ایجاد شده بود، در بهار و تابستان تا عمق حداقل ۷۰ سانتی‌متر خنک‌تر بود. تفاوت در اوایل ماه مه در نزدیکی سطح خاک بیشتر از ۳ درجه‌ی سانتی‌گراد بود.



شکل ۷-۳۰ اثرات خاک‌ورزی بر تغییرات ساعتی دما در نزدیک سطح یک خاک آلفی‌سول سرد در بریش کلمبیای شمالی. خاک برای کشت جو با نظام بدون عملیات خاک‌ورزی (NT)، و نظام سستی خاک‌ورزی (سطح فاقد پسماندهای گیاهی)، (CT) در طول ۱۴ سال گذشته مدیریت شده بود. در خاک با نظام (CT) دمای وسط روز خاک در عمق ۵ سانتی‌متری ۴ درجه از نظام بدون خاک‌ورزی (NT) بالاتر بود. یک تغییر در نظام بدون خاک‌ورزی (MNT) سبب کنارزدن بقایا در یک نوار باریک (عرض ۷/۵ سانتی‌متر) بر روی ردیف کشت سبب حذف اثرات کاهش دمایی گردید (درحالی که اکثر سطح خاک به‌وسیله‌ی خاک‌پوش حفاظت‌کننده‌ی آب و خاک پوشش یافته بود). به تغییرات دمایی روزانه و شیوه عمومی گرم شدن در این ۶ روز توجه کنید.

خاک‌پوش‌های پلاستیکی

یکی از دلایل مقبولیت خاک‌پوش‌های پلاستیکی برای باغ‌ها و گیاهان خاص پرارزش، اثر آن‌ها بر دمای خاک می‌باشد. برخلاف خاک‌پوش‌های آلی، خاک‌پوش‌های پلاستیکی معمولاً سبب بالا رفتن دمای خاک می‌شوند، پلاستیک شفاف دارای اثرات گرمایی بیشتری از پلاستیک سیاه می‌باشد. در مناطق معتدل این اثر می‌تواند برای طولانی کردن فصل رشد، و یا تسریع در تولید برای بهره‌گیری از قیمت‌های بالای محصولات پیش‌رس. مورد استفاده قرار گیرد شکل ۷-۳۱ استفاده از خاک‌پوش پلاستیکی را برای توت‌فرنگی زمستانه در کالیفرنیا جنوبی نشان می‌دهد.

در اقلیم گرم‌تر در طول ماه‌های تابستان، اثرات گرمایی خاک‌پوش‌های پلاستیکی ممکن است بسیار مہلک بوده، از رشد ریشه‌ها در لابه‌ای فوقانی خاک ممانعت نموده و در بعضی مواقع سبب کاهش شدید عملکرد شود (برای نمونه جدول ۷-۷ را مشاهده کنید). اثرات خاک‌پوش‌های پلاستیکی در مهار علف‌های هرز و حفاظت رطوبت، در بعضی شرایط آشکارا به‌واسطه‌ی اثرات گرمایی شدید از ارزش می‌افتد.



شکل ۳۱-۷ محصول این توت‌فرنگی زمستانه در کالیفرنای جنوبی به دلیل اثرات پلاستیک شفاف بر دمای خاک، وقتی به بازار خواهد آمد که قیمت‌ها هنوز بالا می‌باشند.

مدیریت رطوبت

راه دوم اعمال مدیریت بر روی دمای خاک از طریق کنترل رطوبت خاک است. خاک‌های دارای زه‌کشی ضعیف در مناطق معتدل که در بهار خیس می‌باشند، حدود ۳ تا ۶ درجه سانتی‌گراد سردتر از خاک‌های مشابه دارای زه‌کشی خوب هستند، فقط با خارج کردن این آب می‌توان کاهش دما را تخفیف داد. خارج کردن آب با نصب شبکه‌ی زه‌کشی و استفاده از نهرها و یا تنبوشه‌های زیرزمینی امکان‌پذیر است (بخش ۹-۶ را مشاهده کنید). وقتی این روش‌ها سهولت اجرا نداشته باشند نظام نوین جوی و پشته که اخیراً به آن اشاره رفت باید مسود استفاده قرار گیرد.

همان‌طور که در مورد هوای خاک گفته شد، اثر مدیریت آب خاک در دمای خاک در هر جا آشکار است، مسأله چه در ارتباط با گرفتن انرژی باشد، چه در هدررفت انرژی به نیوار و یا حرکت گرما به داخل خاک، مقدار آب موجود همیشه مهم است. به نظر می‌رسد تنظیم آب کلیدی برای مدیریت عملی دمای خاک در مزارع باشد.

جدول ۷-۷ دمای خاک و عملکرد گوجه‌فرنگی با خاک‌پوش کلش و خاک‌پوش پلاستیکی :

داده‌ها میانگین دو سال عملکرد گوجه‌فرنگی در یک خاک لوم شنی (اولتی سول) نزدیک گریفین ایالت جورجیا می‌باشد. کلش از بالا رفتن دمای بالای مه‌لک در سطح خاک جلوگیری کرد، در حالی که سبب افزایش نفوذ باران و کاهش تراکم خاک گردید. آبیاری قطره‌ای در طول روز سبب عرضه آب زیاد گردید، اما نتوانست بر اثرات دمای خاک‌پوش پلاستیک سیاه فائق آید.

آبیاری نشده		روزانه آبیاری شده		
خاک‌پوش کلش	خاک‌پوش پلاستیک	خاک‌پوش کلش	خاک‌پوش پلاستیک	
۲۴	۳۷	۲۴	۳۵	معدل دمای خاک، °C*
۶۸	۳۰	۷۰	۲۴	میزان عملکرد گوجه، تن در هکتار

*دمای خاک در ۵ سانتی‌متر زیر سطح آن اندازه‌گیری شد و معدل هفته‌های ۲ تا ۱۰ فصل رشد بود.

۱۳-۷ نتیجه‌گیری نهایی

تهویه و دمای خاک در کیفیت خاک به‌عنوان زیستگاه گیاهان و دیگر موجودات شدیداً مؤثر می‌باشند. اکثر گیاهان در ضمن داشتن نیازهای مشخصی به اکسیژن خاک، دارای مقاومت اندکی به گازکربنیک، متان و دیگر گازهای مشابه موجود در خاک‌های دارای تهویه ضعیف می‌باشند. بعضی از میکروب‌ها، مانند تولیدکنندگان نیترات و تجزیه‌کنندگان عمومی بر اثر کمبود اکسیژن دچار توقف رشد می‌شوند. خاک‌هایی با رژیم‌های رطوبتی شدیداً مرطوب با توجه به شکل ظاهری، خصوصیات شیمیایی و جامعه‌ی گیاهی موجود در آنها منحصر به فرد می‌باشند. این خاک‌های آب‌دار از خصوصیات اراضی باتلاقی بوده، و سبب می‌شود این بوم‌سامان‌ها هزاران وظایف مفید را به انجام رسانند.

گیاهان، و همین‌طور میکروب‌ها، به اختلافات دمای خاک، به‌خصوص در اقلیم معتدل که دمای پایین می‌تواند فرایندهای اساسی زیستی را محدود کند، کاملاً حساس می‌باشند. دمای خاک در استفاده‌ی خاک‌ها برای مقاصد مهندسی نیز مؤثر می‌باشد، به‌خصوص در اقلیم سرد یخ‌زدن که می‌تواند گیاهان چندساله مانند یونجه را از خاک خارج سازد، عمل مشابهی را با پی ساختمان‌ها، پایه‌های حصارکشی، پیاده‌روها و بزرگ‌راه‌ها انجام می‌دهد.

آب خاک می‌تواند تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای بر هوای خاک و دمای آن داشته باشد. رطوبت خاک با هوای خاک برای اشغال منافذ خاک در رقابت بوده، و در انتشار گازها به‌داخل خاک و از داخل خاک مزاحمت ایجاد می‌کند. رطوبت خاک، همچنین در برابر تغییرات دما به‌وسیله‌ی گرمای ویژه خود و نیاز به انرژی زیاد برای فرایند تبخیر، مقاومت می‌کند.

سوالات برای مطالعه

- ۱- دو گاز عمده که در تهویه دخیلند کدامند و مقدار نسبی آنان چگونه با افزایش عمق تغییر می‌کند؟
- ۲- بافت آرانسیم چیست و چگونه در رابطه با آب و خاک مؤثر است؟
- ۳- اگر پتانسیل اکسید-احیایی برای یک خاک در $pH=6$ نزدیک صفر باشد، دو واکنش را که انتظار دارید رخ دهد بنویسید. حضور مقدار زیادی ترکیبات نیتراتی چگونه در وقوع این واکنش‌ها اثر دارد؟
- ۴- اگر یک خاک آب‌رفتی جنگلی برای مدت ۱۰ روز غرقاب گردد و گازهای حاصل از خاک مرطوب مورد نمونه‌برداری قرار گیرد انتظار دارید به‌غیر از اکسیژن و گاز کربنیک چه گازهایی پیدا شود؟ به ترتیب بیان کنید.
- ۵- بعضی مواقع گفته می‌شود که جانداران در محیط‌های غیرهوازی، از اکسیژن موجود در نیترات و یا سولفات به جای O_2 استفاده می‌کنند چرا این گفته غلط است؟ وقتی جانداران سولفات و یا نیترات را احیاء می‌کنند در واقع چه اتفاقی صورت می‌گیرد؟
- ۶- توضیح دهید چرا هوای گرم در طول دوره اشباع برای ایجاد یک خاک Hydric لازم است؟
- ۷- اگر شما در مزرعه مشغول تعیین محدوده‌ی بخش خشک اراضی باتلاقی باشید سه خصوصیت لازم خاک برای این کار کدامند؟ و سه خصوصیت دیگر که ممکن است شما به آنها نظر داشته باشید کدامند؟
- ۸- برای هر کدام از این گازها جمله‌ای بنویسید که رابطه‌ی آنها را با شرایط مرطوب بیان دارد. اتیلن، متان، اکسید نیترو و سولفید هیدروژن.
- ۹- سه جزء اصلی که اراضی باتلاقی را تبیین می‌کنند کدامند؟
- ۱۰- چهار فرایند خاک را که تحت تأثیر دمای آن می‌باشند، بیان کنید.
- ۱۱- توضیح دهید که چگونه ممکن است یک آتش‌سوزی سرکش لغزش گل را که اغلب در ایالت کالیفرنیا رخ می‌دهد به‌دنبال داشته باشد.
- ۱۲- اگر قرار بود شما خانه‌ای در زیر زمین برای حفظ گرما و سرما بسازید، آیا خاک اطراف منزل را به‌شدت متراکم می‌کردید؟ در مورد پاسخ خود توضیح دهید.
- ۱۳- اگر حداکثر دمای روزانه هوا را در ساعت یک بعدازظهر ۲۸ درجه سانتی‌گراد اندازه بگیرید، انتظار دارید حداکثر دما در عمق ۱۵ سانتی‌متری خاک چه مقدار باشد؟ حدوداً در چه ساعتی از روز حداکثر دما در این عمق رخ می‌دهد؟
- ۱۴- در رابطه با دمای خاک توضیح دهید که چرا عملیات شخم حفاظتی در ایالت میسوری بسیار رایج‌تر از ایالت مینوسوتا می‌باشد؟

چشم‌انداز رس همانند لایه‌های غامض رحم
است که نقش آن دریافت، نگهداری و زاپمان
است.

«ویلیام برایانت لوگان»

فصل ۸

کلویدهای خاک: سرشت و اهمیت عملی آنها

به غیر از فتوستز و تنفس، احتمالاً فرایند دیگری در طبیعت وجود ندارد که برای حیات گیاهی و جانوری به اندازه‌ی تبادل یون‌ها بین ذرات خاک و ریشه گیاهان اساسی باشد. این تبادل کاتیونی و آنیونی عمدتاً در سطوح بخش‌های ریز و یا کلوییدی مواد آلی و معدنی رس و هموس صورت می‌گیرد.

این ذرات کلوییدی بسیار شبیه یک بانک نوین کار می‌کند. آنها محل‌هایی هستند که یون‌های عناصر معدنی اساسی، مانند کلسیم، پتاسیم و سولفور در آن نگهداری شده و از هدررفت اضافی بر اثر فرونشست آب باران و یا آب آبیاری محفوظ می‌مانند. بعدها این یون‌های اساسی می‌توانند از این محل‌های بانک کلوییدی بیرون کشیده شده و به وسیله‌ی ریشه نباتات جذب شوند. به نوبه‌ی خود، این عناصر می‌توانند ته‌نشین شده و یا از طریق افزودن کودهای شیمیایی، آهک، کود دامی و پس‌مانده‌های گیاهی به کلویید باز گردند. سازوکارهای تبادل کاتیونی و آنیونی در اداره‌ی حرکت بعضی از مواد آلی شیمیایی از داخل خاک به رودخانه‌های نزدیک و یا آب چاه مهم می‌باشند. هر ماده‌ی شیمیایی که به وسیله‌ی بارهای مثبت و یا منفی جذب گردد، تا حدی بر روی کلوییدها نگهداری شده و بعداً با آهستگی به محیط اطراف پراکنده می‌شود.

اما قابلیت تبادل کاتیونی و آنیونی تن‌ها خصوصیت خاکی وابسته به کلویدهای خاک نمی‌باشد. تشکیل ساختمان خاک و پایداری آن، نگهداری و حرکت آب و نقش آنها در مهار هوای خاک و دمای آن همگی تا حد قابل‌ملاحظه‌ای تحت تأثیر کلویدهای خاک می‌باشند. سهولت فرسایش خاک در ارتباط با سرشت کلویدهای خاک است، که می‌تواند به طرف پایین‌دست رودخانه برای ته‌نشینی در مخازن، تأمین آب خانگی مورد نیاز ما و یا پرکردن بنادر آبی که باید مکرراً لایروبی شود حرکت کند. استفاده از خاک‌ها برای مجموعه‌های ساختمانی و ساخت بزرگراه‌ها تا حد قابل‌ملاحظه‌ای وابسته به مقدار و سرشت کلویدهای خاک می‌باشد. ذرات کلوییدی (رس و هموس) جایگاه اکثر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک می‌باشند. بنابراین، فهم و شناخت خاک حداقل بدون داشتن حداقل دانش عمومی از سرشت و ساختمان این ذرات ریز کامل نخواهد شد. در این فصل خصوصیات کلی آنها اول مورد بررسی و سپس خصوصیات تک‌تک آنها مورد توجه قرار خواهد گرفت.

۸-۱ خصوصیات کلی کلویدهای خاک

اندازه

مهم‌ترین خصوصیت کلی کلویدها اندازه فوق‌العاده کوچک آنهاست. آنها بسیار کوچک‌تر از آنند که بتوانند به وسیله‌ی میکروسکوپ‌های نوری معمولی مشاهده شوند. فقط با یک میکروسکوپ الکترونی می‌توان از آنها عکس‌برداری کرد. بیشتر این کلویدها دارای قطری کمتر از ۲ میکرون می‌باشند.

سطح

به دلیل اندازه‌ی کوچک آنها، کلویدهای خاک دارای سطح خارجی بزرگی در واحد وزن می‌باشند. سطح خارجی یک گرم از رس کلوییدی ۱۰۰۰ برابر سطح یک گرم شن درشت می‌باشد، بعضی کلویدها، به خصوص رس‌های سیلیکاتی، دارای سطح داخلی بسیار وسیعی نیز می‌باشند. این سطح داخلی بین واحدهای بلوری صفحه‌مانند که هر ذره ایجاد می‌کند، قرار گرفته و معمولاً از سطح خارجی به مراتب بزرگ‌تر است. سطح کل کلویدهای خاک از ۱۰ مترمربع در گرم برای رس‌های فقط دارای سطح خارجی تا بیشتر از ۸۰۰ مترمربع در گرم در رس‌ها با سطح داخلی بسیار گسترده متفاوت است. اندازه‌ی سطح کلوییدی در یک هکتار خاک رسی با عمق ۱۵ سانتیمتر می‌تواند به ۷۰۰۰۰۰ کیلومترمربع برسد (مساحتی که از سطح کشور فرانسه بیشتر است).

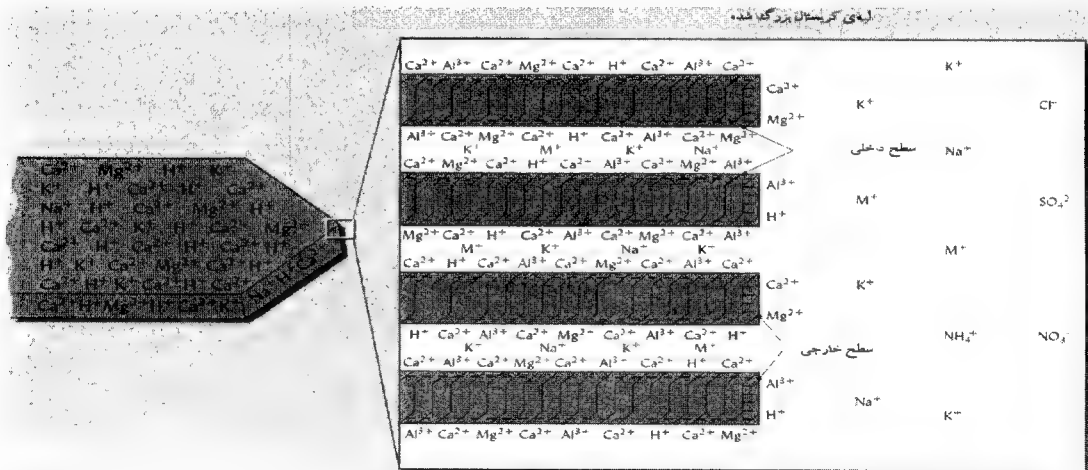
بعضی از ذرات رس و مواد آلی مقداری از حد بالایی حالت کلیدی (۱ میکرون) بزرگتر هستند. گرچه آنها دارای بعضی خصوصیات کلیدی مانند بارهای مثبت و منفی سطحی، جذب شیمیایی ینها در سطح، و توانایی پراکنده شدن می باشند. بدین ترتیب به بخش های زیر خاک (رس ها و هموس) کلویدهای خاک اطلاق می شود. با این تفاوت که بعضی از ذرات چنان کوچک نیستند که از نظر فنی کلویدها طبقه بندی می شوند. برای مروری بر ترکیب و خصوصیات رس ها و هموس، کتاب دیکسون و وید (۱۹۸۹) را مشاهده کنید.

بار سطحی

سطوح کلیدی چه خارجی و چه داخلی، اختصاصاً دارای بار منفی و یا بار مثبت می باشند. در اکثر کلویدهای خاک بار الکتریکی منفی فراوان تر است، هرچند بعضی از کلویدهای معدنی در خاک های خیلی اسیدی دارای بار خالص الکتریکی مثبت می باشند. حضور و میزان بار ذرات در جذب و دفع ذرات به طرف یکدیگر مؤثر می باشد. بنابراین، هردو در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مؤثرند. منابع این بار بعداً مورد ملاحظه قرار خواهد گرفت.

جذب کاتیون ها و آب

پیامد مهم وجود بار بر روی کلویدهای خاک، جذب ین های دارای بار مخالف به سطح کلیدی است این جذب برای کلویدهای دارای بار منفی بسیار مهم است. ذرات کلیدی که به آنها میسل (سلول های میکروبی^۱) اطلاق می شود، صدها و هزارها ین های دارای بار مثبت و یا کاتیون ها مانند H^+ ، Al^{3+} ، Ca^{2+} و Mg^{2+} را جذب می کنند، و این سبب ایجاد لایه ی دوگانه یونی^۲ (شکل ۸-۱) می شود. ذرات کلیدی لایه داخلی یونی را تشکیل داده که خود یک آئون عظیم بوده و سطوح داخلی و خارجی آن از نظر بار منفی می باشند. لایه خارجی از گروهی از کاتیون های سست نگهداری شده (جذب شده) که جذب سطح دارای بار منفی گردیده، تشکیل شده است. بنابراین، یک ذره کلیدی با مجموعه ای از کاتیون ها که در سطح ذره جذب و یا نگهداری شده اند همراه می باشد.



شکل ۸-۱ معرفی تصویری یک بلور رس سیلیکاتی (میسل) با ساختمان شبه صفحه ای خود. بارهای بی شمار منفی آن، و گروه کاتیون های جذب شده همراه، شکل بزرگ شده ی لایه کانی، سطوح داخلی منفی ذره و همچنین سطح خارجی را تشریح می کند که در آن آب و کاتیون ها جذب شده اند. توجه داشته باشید که هر واحد بلوری یک ساختمان منظم لایه ای یونی داخلی با بار منفی را ایجاد می کند که یک گروه از کاتیون های دارای بار مثبت را جذب می کند که هر دو با هم ساختمان یونی دو گانه را تشکیل می دهند بعضی از رس ها که دارای بار مثبت هستند می توانند ین های منفی مانند NO_3^- و SO_4^{2-} را جذب کنند.

علاوه بر کاتیون های جذب شده، تعداد زیادی از مولکول های آب با ذرات کلیدی خاک همراه می باشند، بعضی جذب کاتیون های آب دار^۳ نگهداری شده کلویدها بوده و بقیه، در سطوح داخلی ذرات کلیدی نگهداری می شوند. این مولکول های آب نقشی حیاتی را در تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک ایفا می کنند.

آئون ها مانند Cl^- ، NO_3^- و SO_4^{2-} ممکن است بر روی بعضی از کلویدهای خاک جذب گردند، جذب در اثر بارهای مثبت سطح کلویدها است. هرچند آئون ها به اندازه ی کاتیون ها گسترده نیستند، اما یک سازوکار مهم برای نگهداری اجزای دارای بار منفی می باشند.

^۱ - Micelles (Microcells)

^۲ - Ionic double layer

^۳ - Hydrated cations

۸-۲ انواع کلوئیدهای خاک

۴ نوع کلوئید عمده در خاک وجود دارند که عبارتند از: ۱) رس‌های سیلیکاتی لایه‌ای (۲) رس‌های اکسید آهن و آلومینیوم (۳) آلوфан و رس‌های بی‌شکل همراه آن (۴) هموس. گرچه هر گروه دارای خصوصیات کلی کلوئیدی تشریح شده‌ی قبل می‌باشند، هریک دارای ویژگی‌های خاص خود بوده که آن‌ها را از یکدیگر متمایز می‌سازد.

رس‌های سیلیکاتی لایه‌ای

کانی‌های رسی سیلیکاتی کلوئیدهای معدی غالب در اکثر خاک‌ها به‌خصوص در مناطق معتدل، می‌باشند. مهم‌ترین خصوصیت این رس‌ها ساختمان بلوری و بار منفی آن‌هاست. هر ذره از یک گروه لایه‌ها که بسیار شبیه به صفحات کتاب هستند تشکیل شده است (شکل ۲-۸). لایه‌ها عمدتاً از صفحات متراکم اتم‌های اکسیژن با اتم‌های سیلیسیم، آلومینیوم، منیزیم، هیدروژن و/یا آهن که در بین اتم‌های اکسیژن قرار گرفته‌اند، به همدیگر متصل شده‌اند. فرمول یکی از این رس‌ها، کائولینیت، $\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ می‌باشد که ترکیب کلی آن‌ها را مشخص می‌سازد. ترکیب شیمیایی دقیق و نظم و ترتیب اتم‌ها در یک کلوئید بلوری بیانگر بار سطحی و توانایی آن در نگهداری و تبادل یون‌ها، و هم چنین خصوصیات فیزیکی آن از جمله چسبندگی و شکل‌پذیری می‌باشد که در بخش ۴-۸ در جزئیات موردبررسی قرار خواهد گرفت.

آلوфан و ایموگلیت^۱

در بسیاری از خاک‌ها مقادیر قابل توجه از مواد کلوئیدی وجود دارد که بدون شکل بوده و یا ساختمان بلوری آن‌ها چنان منظم نیست که بتواند به‌وسیله‌ی اشعه‌ی X تشخیص داده شود. به‌خاطر نبود ساختمان بلوری سه بعدی منظم گاهی به آن‌ها نیز کانی‌های دارای نظم محدود^۲ اطلاق می‌شود. مطالعه آن‌ها از کانی‌های بلورین مشکل‌تر بوده، و در نتیجه اطلاعات اندکی در مورد آن‌ها موجود است. مهم‌ترین کلوئیدهای سیلیکاتی بی‌شکل، آلوфан و کلوئید خیلی هوا دیده همراه آن ایموگلیت است. این کانی‌های سیلیکاتی آلومینیومی به‌مقدار کمی قابل تشخیص بوده و ترکیب کلی تقریبی آن‌ها $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ می‌باشد. آن‌ها در خاک‌های تکامل‌یافته از خاکسترهای آتشفشانی (اندی‌سول‌ها) به‌وفور وجود دارند. مانند انواعی که در شمال غربی آمریکا یافت می‌شوند. ظرفیت آن‌ها برای جذب آنیون‌ها با توجه به‌مقدار pH متفاوت می‌باشد کاتیون‌ها عمدتاً در pH بالا و آنیون‌ها در pH پایین جذب می‌شوند. آلوфан و ایموگلیت، به‌خاطر ظرفیت بالای جذب فسفات در خاک‌های اسیدی مشهور می‌باشند.

اکسیدهای آهن و آلومینیوم

این رس‌ها در خاک‌های خیلی هوا دیده الی سول و اکسی سول مناطق گرمسیر و نیمه‌گرمسیر معمولاً غالب بوده و به‌مقدار فراوان در خاک‌های الی سول و انسیتی سول بعضی از مناطق معتدل نیز وجود دارند. خصوصیات خاک‌های زرد و قرمز (الی سول‌ها) که در جنوب شرق آمریکا خیلی معمول هستند تا حد خیلی زیادی تحت سلطه‌ی این رس‌ها می‌باشد.

نمونه‌های از اکسیدهای آهن و آلومینیوم معمول در خاک‌ها عبارتند از گیسایت $\text{Al}(\text{OH})_3$ ، گوئیت (FeOOH) و هماتیت Fe_2O_3 . برای سهولت به آن‌ها رس‌های اکسیدهای آهن و آلومینیوم گفته می‌شود. بعضی دارای ساختمان بلوری مشخص هستند، اما بقیه بی‌شکل می‌باشد. رس‌های آهن و آلومینیوم که معمولاً رس‌های لایه‌ای را پوشش داده‌اند، همانند آن‌ها چسپنده و شکل‌پذیر نمی‌باشند. در آن‌ها به‌بالا میسل دارای بار منفی است که با کاتیون‌های هم‌ظرفیت آن محاصره شده است. در خاک‌های خیلی اسیدی بعضی از اکسیدهای Al و Fe دارای بار خالص مثبت شده و آنیون‌های دارای بار منفی را به‌جای کاتیون‌ها جذب می‌کنند (تبادل آنیونی در بخش ۱۴-۸ مورد بحث قرار گرفته است).

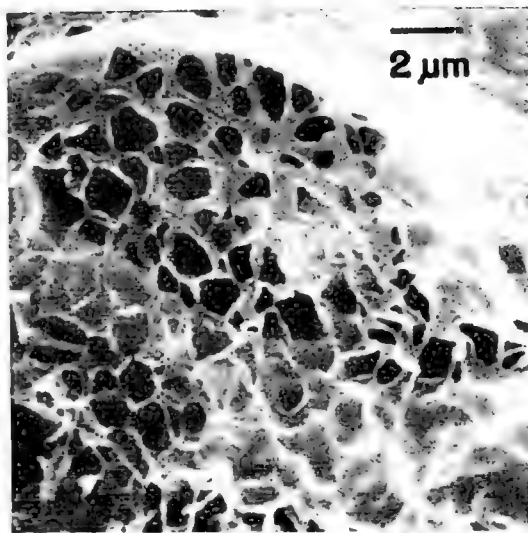
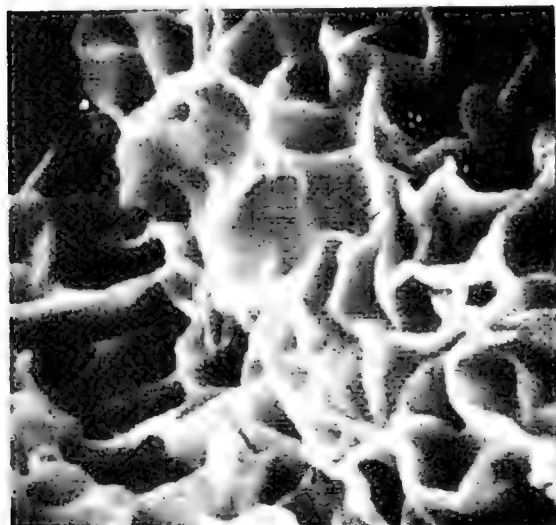
کلوئیدهای آلی خاک: هموس

سازمان کلوئیدی هموس شباهت‌های چندی با رس دارد. یک میسل دارای بار زیاد به‌وسیله‌ی گروهی از کاتیون‌ها محاصره شده است. کلوئید هموس بلوری نبوده اگرچه از زنجیره‌های به‌هم پیچیده‌ی کربن در پیوند با هیدروژن، اکسیژن، و ازت تشکیل شده‌اند. کلوئیدی آلی از نظر اندازه متفاوت اما حداقل به اندازه‌ی ذرات رس‌های سیلیکاتی کوچک می‌باشند.

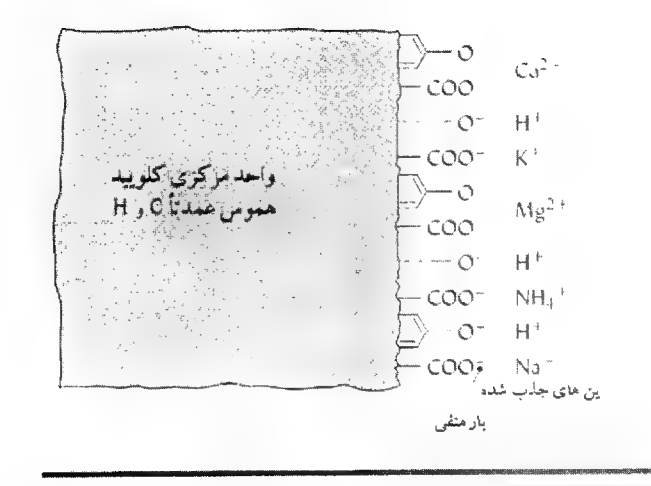
^۱ - Allophane & Imogolite

^۲ - به کانی‌هایی که دارای ساختمان بلورین منظم در فاصله‌ی طولانی (۱۰۰-۱۰۰۰ نانومتر (۱۰^{-۶} متر)) در داخل ذرات می‌باشند کانی‌های دارای نظم طولانی اطلاق می‌شود. سایر کانی‌ها مانند آلوфан و ایموگلیت، که در فاصله کوتاه دارای ساختمان منظم در داخل مواد غیربلورین می‌باشند کانیهای دارای نظم محدود short-range order minerals اطلاق می‌شود

بار منفی هموس در نتیجه تفکیک بخشی از گروه‌های اینولیک ($-OH$)، کربوکسیل ($-COOH$) و فنولیک ($-OH$) می‌باشد. این گروه‌ها نیز با واحدهای مرکزی با اندازه و پیچیدگی ساختمانی متفاوت همراهند. رابطه این گروه‌ها در شکل ۳-۸ تشریح شده است. همان‌طور که در مورد اکسیدهای Al و Fe مطرح گردید، بار منفی همراه با هموس وابسته به pH خاک می‌باشد. تحت شرایط خیلی اسیدی، بار منفی کلویید چندان بالا نیست، بلکه کمتر از بعضی از رس‌های سیلیکاتی است. با بالا رفتن pH یون‌های هیدروژن اول از گروه‌های کربوکسیل و سپس از گروه‌های اینولیک و فنولیک تفکیک گردیده و این سبب افزایش زیاد بار منفی بر روی کلویید می‌گردد. تحت شرایط خشی تا قلیایی بار الکتریکی منفی هموس در واحد سطح به مراتب از رس‌های سیلیکاتی بالاتر است. در این خاک‌ها با pH بالا، هیدروژن جذب شده به وسیله کلسیم، منیزیم و دیگر کاتیون‌ها جایگزین شده است (شکل ۳-۸).



شکل ۸-۲ بلورهای سه کانی رس سیلیکاتی و ریزتصویر اسید هومیک که در خاک‌ها یافت می‌شود (الف) کاتولینیت از ایالت ایلینوی حدود ۱۹۰۰ برابر بزرگ شده است (به بلورهای ۶ وجهی در قسمت بالا سمت چپ توجه کنید) (ب) یک میکای یافت ریز که در ویسکانسین یافت می‌شود حدود ۱۷۶۰۰ برابر درشت شده است (ج) مونت‌موریلونیت (گروه کانی‌های اسمکتیت) از ایالت ویومینگ ۲۱۰۰۰ برابر بزرگ شده است (د) اسید فولویک (یک اسید هومیک) از ایالت جورجیا ۲۳ هزار برابر بزرگ شده است.



شکل ۸-۳ جذب کاتیون‌ها به وسیله کلویید هموس. گروه‌های هیدروکسی فنلیک به حلقه‌های مواد معطر -OH پیوسته‌اند. دیگر گروه‌های -OH و کربوکسیل (-COOH) با اتم‌های کربن در هسته مرکزی پیوند دارند. به شباهت کلی در موقعیت جذب با رس‌های سیلیکاتی توجه کنید

۸-۳ کاتیون‌های جذب شده

در مناطق مرطوب کاتیون‌های کلسیم، آلومینیوم و به میزانی کمتر هیدروژن فراوان‌ترین کاتیون‌ها هستند، در صورتی که در مناطق خشک کاتیون‌های کلسیم، منیزیم، پتاسیم و سدیم غالب می‌باشند (جدول ۸-۱). یک هماتیت کلوییدی ممکن است به صورت روش ساده‌ی زیر در هر منطقه معرفی گردد.

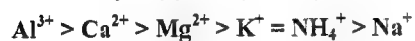
(a) Ca^{2+}		(e) Ca^{2+}	
(b) Al^{3+}		(f) Mg^{2+}	
(c) H^+	میل	(g) K^+	میل
(d) M^+	منطقه‌ی مرطوب	(h) M^+	منطقه‌ی خشک

M^+ شامل مقادیر اندکی از دیگر کاتیون‌های بازی مانند Na^+ و NH_4^+ جذب شده‌ی کلویید است. a تا h بیانگر تغییر بودن تعداد کاتیون‌ها است.

این مثال‌ها مشخص می‌سازد که کلوییدهای خاک و یون‌های قابل تبادل همراه آن‌ها می‌توانند با یک ساده‌نگری کلی به صورت نمک‌های هماتیت^۱ مورد ملاحظه قرار گیرند که دارای یک آیون بزرگ (میسِل) است که به وسیله کاتیون‌های متعدد محاصره شده‌اند.

فراوانی کاتیون‌ها

دو عامل میزان نسبی کاتیون‌های مختلف جذب شده به وسیله رس‌ها را مشخص می‌کند اول این که این رس‌ها با شدت یکسانی بر روی کلوییدهای خاک نگهداری نمی‌شوند، ترتیب شدت جذب وقتی آن‌ها در مقادیر هم‌ظرفیت حضور داشته باشند، عبارتند از:



دوم میزان غلظت نسبی کاتیون‌ها در محلول خاک میزان جذب آن‌ها را تعیین می‌کند. بنابراین، در محلول خاک‌های خیلی اسیدی تراکم یون‌های Al^{3+} و H^+ هر دو بالاست و این یون‌ها کاتیون‌های غالب جذب شده‌ی کلویید را تشکیل می‌دهند. در pH خنثی و بالاتر، غلظت H^+ و Al^{3+} بسیار پایین است و بنابراین جذب آن‌ها حداقل است. در خاک‌های خنثی تا اندکی قلیایی Ca^{2+} و Mg^{2+} غالب می‌باشند، در بعضی از خاک‌ها با زهکشی ضعیف در مناطق خشک، نمک‌های دارای سدیم زیاد افزایش می‌یابند و جذب Na^+ بسیار فراوان می‌گردد. نسبت فراوانی کاتیون‌ها در راسته‌های مختلف خاک در جدول ۸-۱ نشان داده شده است.

^۱ - Complex salts

جدول ۸-۱ خصوصیات نمونه کاتیون‌های عمده جذب شده در لایه‌های سطحی رده‌های مختلف خاک (اعداد درصد در هر مورد بر اساس جمع هم‌ظرفیت کاتیون‌ها به میزان ۱۰۰ می‌باشد)

درصد	درصد	درصد	درصد	درصد	موقعیت	رده‌ی خاک
Na^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	H^+ و Al^{3+}		
کم	۲	۳	۱۰	۸۵	هاوایی	اکسی‌سول
کم	۲	۳	۱۵	۸۰	نیوانگلند	اسپدوسول
۱	۳	۶	۲۵	۶۵	جنوب شرق آمریکا	التی‌سول
۲	۵	۱۳	۳۵	۴۵	پنسیلوانیا تا ویسکانسین	الفی‌سول
۲	۵	۱۵	۳۸	۴۰	آلاباما تا تگزاس	ورتی‌سول
۳	۶	۱۸	۴۳	۳۰	نیمه غربی آمریکا	مولی‌سول
۵	۱۰	۲۰	۶۵	-	آمریکای جنوب غربی	اریدی‌سول

تبادل کاتیونی

همان‌طور که در فصل اول اشاره گردید، کاتیون‌های جذب سطحی شده در معرض تبادل با سایر کاتیون‌های موجود در محلول خاک قرار می‌گیرند. برای مثال یک یون کلسیم نگهداری شده بر روی سطح کلوییدی در معرض تبادل با یون H^+ در محلول خاک قرار می‌گیرد.



بنابراین، کلوییدهای خاک مکان اصلی برای واکنش‌های تبادل کاتیونی می‌باشند که اثرات برجسته‌ای بر روابط خاک گیاه دارند. این مسایل در جزئیات بیشتر (فصل ۸-۱۱) بعد از ملاحظه انواع رس‌های سیلیکاتی مورد بحث قرار خواهد گرفت.

۸-۴ مبانی ساختمان رس‌های سیلیکاتی لایه‌ای

حال که خصوصیات کلی کلوییدهای خاک و کاتیون‌های همراه آن‌ها بیان شد، به ملاحظه‌ی دقیق بلورهای رسی باز می‌گردیم. استفاده از اشعه‌ی X و میکروسکوپ الکترونی و سایر روش‌ها مشخص ساخته است که ذرات رس‌های سیلیکاتی بلوری بوده و هر ذره از لایه‌های انفرادی و یا صفحاتی چند (شکل ۸-۴) تشکیل شده است، سازمان کانی‌شناسی این لایه‌ها از یک نوع رس با نوع دیگر متفاوت است و در خصوصیات کانی به‌طور مشخص مؤثر است، به این دلیل نظری، مبانی ساختار رس‌های سیلیکاتی قبل از بررسی کانی‌های رس سیلیکاتی خاص تشریح خواهد شد.

صفحات چهاروجهی سیلیس و ۸ وجهی آلومینیوم - منیزیم

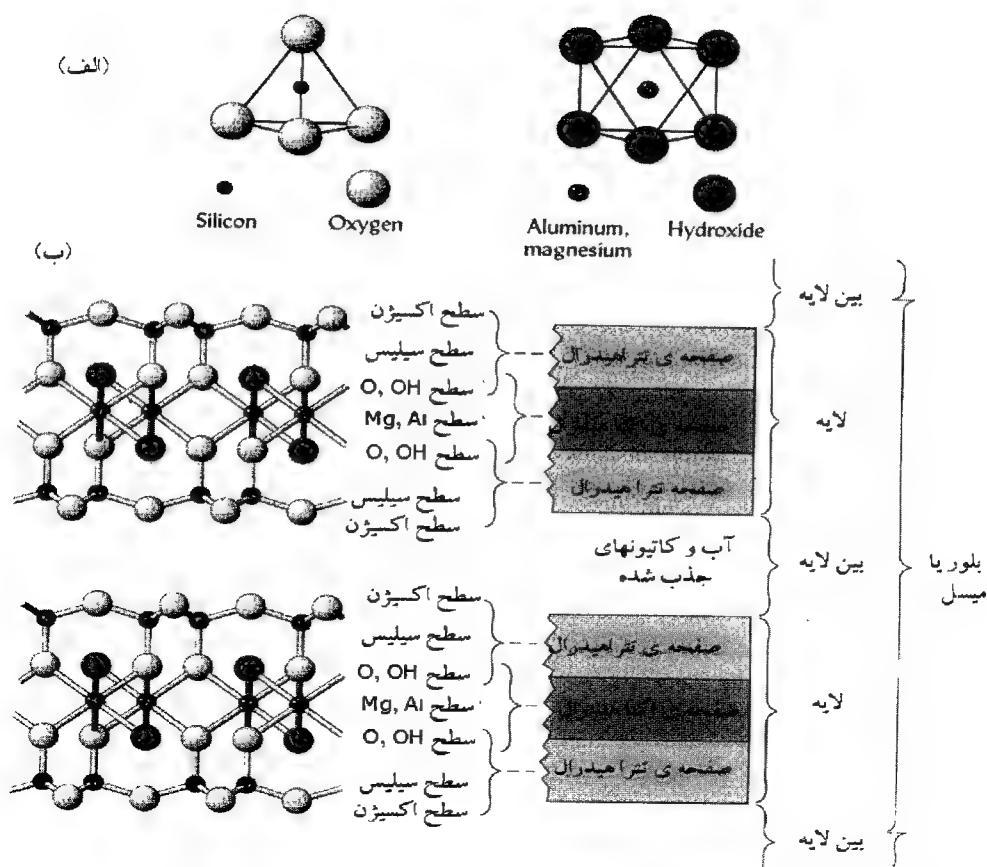
مهم‌ترین رس‌های سیلیکاتی به نام فیلسیلیکاتها^۱ (در یونانی فیلون^۲ به معنی برگ است) به‌خاطر ساختمان برگ مانند و یا صفحه‌ای آن‌ها مشهورند. همان‌طور که در شکل ۸-۴ نشان داده شده است، آن‌ها از دو نوع صفحه تشکیل شده‌اند. که در یکی، دو صفحه‌ی اکسیژن یک صفحه‌ی سیلیس را در بر گرفته‌است، و در دیگری دو صفحه‌ی اکسیژن و هیدراکسیل یک صفحه آلومینیوم و/یا منیزیم را احاطه کرده‌اند. واحد ساختمانی اصلی برای صفحه سیلیس از یک اتم سیلیس و چهار اتم اکسیژن اطراف آن تشکیل شده است و به آن سیلیس تراهدرون^۳، به‌خاطر شکل ۴ وجهی آن اطلاق می‌شود (شکل ۸-۴)، مجموعه‌ای منظم از این سیلیس‌های چهاروجهی که به‌وسیله‌ی آنیون‌های اکسیژن مشترک در صفحات طرفین به هم متصل شده‌اند صفحه‌ی چهاروجهی^۴ نامیده می‌شود.

¹ - Phyllosilicates

² - Phyllon

³ - Si tetrahedron

⁴ - Tetrahedron sheet



شکل ۴-۸ اجزای مولکولی و ساختمانی رس‌های سیلیکاتی. (الف) یک ساختمان ۴ وجهی انفرادی از یک یون سیلیس که با ۴ اتم اکسیژن احاطه شده است و یک ۸ وجهی انفرادی که در آن یک اتم آلومینیوم (و یا منیزیم) به وسیله ی گروه هیدراکسیل و یا اکسیژن احاطه شده، تشکیل گردیده است. (ب) در بلورهای رسی از این ساختمان‌های ۴ وجهی و ۸ وجهی هزاران به هم دیگر اتصال یافته تا سطوح آلومینیوم (و یا منیزیم) و سیلیس را تشکیل دهند. توجه کنید که اکسیژن‌های راس چهار وجهی سیلیس در صفحات ۴ وجهی و ۸ وجهی مشترک می‌باشند. این سطوح در تناوب با سطوح اتم‌های اکسیژن و هیدراکسیل (دایره‌های پر) می‌باشند. سطح سیلیس و سطوح اکسیژن/هیدراکسیل یک صفحه چهار وجهی ایجاد می‌کند، همین‌طور سطوح آلومینیوم/منیزیم و سطح همراه اکسیژن/هیدراکسیل یک صفحه ۸ وجهی ایجاد می‌کنند. ترکیبات مختلف صفحات چهار وجهی و ۸ وجهی، لایه‌ها نامیده می‌شود، در بعضی از رس‌های سیلیکاتی این لایه‌ها به وسیله ی بین لایه‌هایی که در آن آب و کاتیون‌های جذب شده وجود دارند از هم دیگر جدا می‌شوند لایه‌های زیادی در هر بلور و یا میسل یافت می‌شود.

یون‌های آلومینیوم و/ یا منیزیم کاتیون‌های کلیدی در صفحه‌ی نوع دوم می‌باشند. یک یون آلومینیوم (و یا منیزیم) به وسیله ی ۶ اتم اکسیژن و یا گروه هیدراکسیل احاطه شده و یک واحد ساختمانی ۸ وجهی را تحت عنوان اکتاهیدرال^۱ (شکل ۴-۸) ایجاد می‌کنند. اکتاهیدرونها مختلف با هم دیگر اتصال یافته و یک صفحه اکتاهیدرال^۲ را تشکیل می‌دهند. یک صفحه با غالبیت آلومینیوم به صفحه دی اکتاهیدرال^۳ مشهور است در صورتی که صفحه با غالبیت منیزیم صفحه تری اکتاهیدرال^۴ نامیده می‌شود. تمایز آن‌ها در ارتباط با این واقعیت است که دو یون آلومینیوم در صفحه دی اکتاهیدرال برای خنثی کردن همان بارهای منفی اکسیژن و هیدراکسیل مانند سه اتم منیزیم در صفحه تری اکتاهیدرال کفایت می‌کنند. همان‌طور که بعداً خواهیم دید هر دو کاتیون حضور داشته باشند گونه‌های حد واسط فراوانی به وجود خواهد آمد.

¹ - Octahedron

² - Octahedral sheet

³ - Dioctahedral

⁴ - Trioctahedral

صفحات چهاروجهی و ۸ وجهی اساس واحدهای ساختمانی رس‌های سیلیکاتی می‌باشند. آن‌ها نیز به‌نوبه‌ی خود به‌وسیله‌ی اتم‌های اکسیژن مشترک با همدیگر در داخل بلور متصل گشته و لایه‌های مختلفی را ایجاد می‌کنند. سرشت خاص و ترکیب صفحات در این لایه‌ها از یک نوع با نوع دیگر متفاوت است و تا حد زیادی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی رس را مشخص می‌سازد، رابطه بین صفحات و لایه‌ها که در شکل ۴-۸ نشان داده شده است، مهم بوده و باید درک گردد.

جانشینی هم‌شکل^۱

نظم و ترتیب ساختمانی که هم‌اکنون تشریح گردید یک رابطه‌ی ساده را بین عناصری که رس‌های سیلیکاتی را می‌سازند مطرح می‌کند. هرچند در طبیعت، فرمول‌های بسیار پیچیده‌ای حاصل می‌شود. تخریب انواع زیادی از سنگ‌ها و کانی‌ها امکان جانشینی کاتیون‌ها با اندازه‌ی مشابه را برای سیلیس، آلومینیوم و منیزیم در لایه‌های چهاروجهی و ۸ وجهی مربوطه فراهم می‌سازد. شعاع یونی شماری از این‌ها معمول که در رس هستند، برای تشریح این نکته در جدول ۲-۸ آمده است. توجه داشته باشید که آلومینیوم فقط کمی بزرگ‌تر از سیلیس است در نتیجه، آلومینیوم می‌تواند در مرکز چهاروجهی به‌جای سیلیس بدون به‌هم‌زدن ساختمان اصلی بلور جایگزین گردد. این فرایند که جانشینی هم‌شکل نامیده می‌شود معمول بوده و سبب تنوع بسیار زیاد در سرشت رس‌های سیلیکاتی می‌گردد. جانشینی هم‌شکل در صفحه هشت‌وجهی نیز صورت می‌گیرد. در جدول ۲-۸ توجه کنید که این‌هایی مانند آهن و روی از نظر اندازه با آلومینیوم و منیزیم تفاوت چندانی ندارند، در نتیجه این‌ها می‌توانند به‌عنوان این مرکزی جایگزین آلومینیوم و یا منیزیم در صفحه ۸ وجهی گردند. باید تأکید کرد که بعضی سیلیکات‌های لایه‌ای بر اثر جانشینی هم‌شکل در هریک و یا هر دو لایه اکتاهیدرال و تتراهیدرال مشخص می‌شوند.

منابع بار

جانشینی هم‌شکل دارای اهمیت حیاتی می‌باشد، زیرا منبع اولیه هم بار منفی و هم بار مثبت در رس‌های سیلیکاتی می‌باشد. برای مثال، جانشینی Al^{3+} برای Si^{4+} در صفحه‌ی چهاروجهی سبب ایجاد یک بار منفی آزاد می‌شود، به‌همین ترتیب جانشینی Al^{3+} برای یک Mg^{2+} در صفحه تری‌اکتاهیدرال سبب ایجاد یک بار مثبت اضافی خواهد شد. خالص بار همراه یک میسل رس حاصل تعادل بین بارهای مثبت و منفی می‌باشد. در اکثر رس‌های سیلیکاتی بار منفی غالب است این موضوع بعدها مورد توجه بیشتری قرار خواهد گرفت (بخش ۸-۸ را مشاهده کنید).

۵-۸ سازمان کانی‌شناسی رس‌های سیلیکاتی

بر اساس تعداد و نظم و ترتیب صفحات چهاروجهی (سیلیس) و ۸ وجهی (آلومینیوم و منیزیم) موجود در واحد بلور و یا لایه‌ها، رس‌های سیلیکاتی به دو گروه مختلف رس‌های ۱:۱ و رس‌های ۲:۱ طبقه‌بندی شده‌اند: به‌منظور تشریح هرچه بیشتر یک عنصر (رس) از این انواع، به‌طور مختصر مورد بحث قرار خواهد گرفت.

کانی‌های ۱:۱

لایه‌های کانی‌های نوع ۱:۱ از یک صفحه چهاروجهی (سیلیس) توأم بایک صفحه ۸ وجهی (آلومینیوم) تشکیل شده است و به این خاطر به آن‌ها کانی‌های ۱:۱ اطلاق می‌شود (شکل ۵-۸). درخاک‌ها کائولینیت عنصر بسیار فراوان از این گروه می‌باشد که شامل کانی‌های هالوسیت^۲، ناکریت^۳ و دیکیت^۴ نیز می‌باشند.

صفحات چهاروجهی و ۸ وجهی در یک لایه بلور کائولینیت به‌وسیله‌ی اتم‌های اکسیژن محکم به‌همدیگر اتصال یافته و این اتم‌ها بین کاتیون‌های سیلیس و آلومینیوم در صفحات مربوطه به اشتراک گذاشته شده‌اند. این لایه‌ها با لایه‌های مجاور به‌وسیله‌ی پیوند هیدروژنی متصل شده‌اند (فصل ۵-۱ را مشاهده کنید). در نتیجه ساختمان کانی ثابت بوده و انبساطی معمولاً بین لایه‌ها وقتی رس مرطوب می‌شود صورت نمی‌پذیرد. کاتیون‌ها و آب نمی‌توانند بین لایه‌های ساختمانی ذرات کانی نوع ۱:۱ وارد شوند، بنابراین سطح مؤثر کائولینیت محدود به سطح خارجی آن می‌شود. به‌علاوه جانشینی هم‌شکلی در این نوع کانی‌های ۱:۱ اندک است. این خصوصیت همراه با سطح نسبتاً اندک کائولینیت دلیل ظرفیت کم آن برای جذب کاتیون‌ها می‌باشد.

^۱ - Isomorphism substitution

^۲ - Hallosite

^۳ - Nacrite

^۴ - Dickite

بلورهای کائولینیت معمولاً ۶ وجهی می‌باشند (شکل ۲-۸)، در مقایسه با سایر ذرات رس این کانی دارای اندازه بزرگ بوده و قطر آن در دامنه‌ی ۰/۱-۵ میکرون بوده و اکثر آن‌ها در دامنه‌ی ۰/۲-۲ میکرون قرار دارند. به‌دلیل نیروهای پیوندی قوی بین لایه‌های ساختمانی آن‌ها، ذرات کائولینیت به آسانی به صفحات خیلی نازک شکسته نمی‌شوند.

جدول ۲-۸ شعاع یونی عناصر معمول در رس‌های سیلیکاتی و مشخص شدن این که کدام در چهاروجهی و کدام در ۸ وجهی یافت می‌شوند.

توجه کنید که OH, O, Fe, Al می‌توانند در هر دو لایه جای گیرند

OH	O ²⁻	K ⁺	Ca ⁺	Na ⁺	Fe ²⁺	Zn ²⁺	Mg ²⁺	Fe ³⁺	Al ³⁺	Si ⁴⁺	بن
0.155	0.140	0.133	0.099	0.097	0.07	0.074	0.066	0.064	0.051	0.042	n.m شمع
هر دو لایه		محل های تبادل				۴ وجهی سیلیس					محل -
۸ وجهی آلومینوم											

برخلاف دیگر گروه‌های سیلیکاتی کائولینیت دارای شکل‌پذیری (ظرفیت پیچ و تاب خوردن) چسبندگی، هم‌چسبی، انقباض و انبساط اندکی می‌باشد. سطح محدود و ظرفیت جذب اندک کاتیونی و مولکول‌های آب مشخص می‌کنند که کائولینیت خصوصیات کلوییدی را در حد بالایی نشان نمی‌دهد (جدول ۳-۸ را مشاهده کنید). درعین حال خاک‌های دارای کائولینیت بسترهای خوبی برای جاده‌ها و ساختمان‌ها ایجاد کرده و معمولاً برای ساخت آجر به کار می‌روند. خاک‌ورزی در آن‌ها به آسانی انجام گرفته و از نظر کشاورزی به راحتی قابل مدیریت می‌باشند. این رس‌ها با تأمین عناصر غذایی حاصل از کود دامی و کودهای شیمیایی می‌توانند دارای توان تولیدی بالایی گردند.

کانی‌های ۲:۱

واحدهای بلوری (لایه‌ها) این کانی‌ها به وسیله‌ی یک صفحه ۸ وجهی، که در بین دو صفحه چهاروجهی قرار گرفته، مشخص می‌گردند، چهار نوع کلی دارای این نوع ساختمان اساسی می‌باشند دو نوع از آن‌ها اسمکتیت^۱ و ورمی کولیت^۲ شامل کانی‌های منبسط‌شونده هستند در صورتی که دو نوع دیگر میکاهای دانه‌ریز (ایلیت)^۳ و کلریت تقریباً غیرمنبسط شونده می‌باشند.

کانی‌های منبسط‌شونده: گروه اسمکتیت به خاطر انبساط بین لایه‌ای که با مرطوب شدن و ورود آب بین لایه‌ها حاصل می‌شود مشخص می‌گردند. مونت‌موریلونیت عضو بسیار غالب این گروه در خاک‌ها می‌باشد. به علاوه کانی‌های دیگری مانند بیدلایت^۴ ناترونیت^۵ و ساپونیت^۶ نیز در این گروه قرار دارند.

بلورهای فلس مانند مونت‌موریلونیت (شکل ۲-۸)، از لایه‌های نوع ۲:۱ ترکیب شده‌اند که در شکل ۶-۸ نشان داده شده است. در عوض این لایه‌ها با پیوند خیلی ضعیف اکسیژن با اکسیژن و کاتیون با اکسیژن بسیار سست با همدیگر اتصال یافته‌اند. کاتیون‌های قابل تبادل و مولکول‌های آب همراه در بین لایه‌ها (فضای بین لایه‌ای) جذب شده‌اند و سبب انبساط لایه‌های بلورین می‌شود. سطح داخلی آشکار شده به مراتب از سطح خارجی این کانی‌ها وسیع‌تر می‌باشند. برای مثال، سطح ویژه و یا سطح کل تقسیم بر واحد جرم (سطح داخلی و خارجی) یک کانی اسمکتیت (مونت‌موریلونیت) ۶۵۰ تا ۸۰۰ مترمربع در گرم است. رقم مشابه برای کائولینیت فقط ۵ تا ۲۰ مترمربع در گرم می‌باشد (جدول ۳-۸). اندازه‌ی این بلورهای اسمکتیت از ۰/۱ تا ۱ میکرون است. که از اندازه‌ی متوسط کائولینیت بسیار کوچک‌تر می‌باشند.

جانشینی هم‌شکل Mg²⁺ برای بعضی از این‌های Al³⁺ در صفحه دی‌اکتاهیدرال علت اکثر بار منفی اسمکتیت است. گرچه گاهی جانشینی Al³⁺ به جای Si⁴⁺ در صفحه چهاروجهی صورت می‌گیرد. اسمکتیت معمولاً دارای ظرفیت تبادل کاتیونی بالا بوده که شاید ۲۰ برابر کائولینیت باشد. (جدول ۳-۸). اسمکتیت همچنین به خاطر شکل‌پذیری و چسبندگی بالا، و انبساط قابل توجه آن در صورت خیس شدن، و انقباض آن در هنگام خشک شدن، شاخص می‌باشد. ترک‌های عریض معمولاً در خاک‌های دارای اسمکتیت هنگام خشک شدن، تشکیل

¹- Smectite

²-Vermiculite

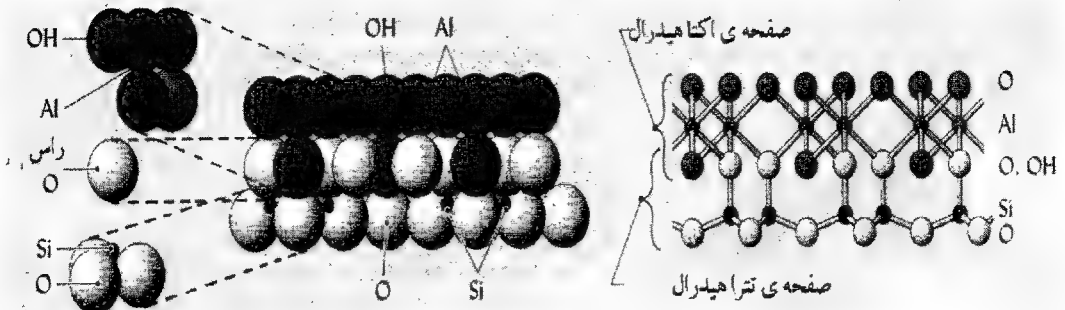
³- Illite

⁴- Beidellite

⁵- Nonttronite

⁶- Saponite

می‌شود (خاک‌های ورتی‌سول^۱ (شکل ۳۵-۴)). خاکدانه‌های خشک و کلوخه‌ها بسیار سخت بوده به‌طوری‌که انجام عملیات خاک‌ورزی در آن مشکل می‌باشد. به‌علاوه خاک‌های حاوی اسمکتیت شالوده‌های بسیار ضعیفی برای پی منازل و جاده‌ها ایجاد می‌کنند.



شکل ۸-۵ مدل یون‌هایی که یک لایه رس کائولینیتی از نوع ۱:۱ را تشکیل می‌دهند. عناصر اولیه اکتاهیدرال (بالا سمت چپ) و تتراهیدرال (پایین سمت چپ) چنان نشان داده شده‌اند که انگار از همدیگر جدا می‌باشند در ساختمان بلورین، این صفحات به‌وسیله اتم‌های اکسیژن مشترک، که اتم‌های رأس نامیده می‌شود، به همدیگر متصل می‌باشند توجه کنید هر لایه از صفحات متناوب اکتاهیدرال (Al) و تتراهیدرال (Si) تشکیل شده است و بنابراین به آن رس ۱:۱ گفته می‌شود. بین‌های آلومینیوم که به‌وسیله ۶ گروه هیدراکسیل و با اتم‌های اکسیژن رأس احاطه شده است، صفحه‌ی اکتاهیدرال را می‌سازد (بالا سمت چپ). بین‌های کوچک سیلیس همراه با چهار اتم اکسیژن (از جمله اکسیژن رأس) صفحه‌ی تتراهیدرال را می‌سازد (پایین سمت چپ). صفحات اکتاهیدرال و تتراهیدرال (وسط) با اتم‌های اکسیژن مشترک دو جانبه (رأس) یا همدیگر پیوند یافته‌اند (وسط). حاصل ایجاد لایه‌ای با بین‌های هیدراکسیل در یک سطح و اکسیژن در سطح دیگر می‌باشد. نقاشی نظم یونی (راست) بیانگر نمای مقطع عرضی یک لایه بلورین می‌باشد. به اکسیژن‌های رأس مشترک که صفحات را بهم وصل می‌کند توجه کنید. (به‌خاطر مشاهده اتم‌های سیلیس جلویی در صفحه‌ی سیلیس (نقاشی وسط) اتم‌های اکسیژن قاعده نشان داده نشده است)

جدول ۳-۸ خصوصیات عمده‌ی کانی‌های رسی* انتخاب شده و هموس

هموس	کائولینیت	کلریت	میکای ریز	ورمی کولیت دی‌اکتاهیدرال	اسمکتیت	خصوصیات
0.1-1	0.1-5	0.1-2	0.2-2	0.1-5.0	0.01-1	اندازه μm
متغیر	۶ وجهی	متغیر	فلس	بشقابی - فلس مانند	فلس مانند	شکل
متغیر xxx	۱۰-۳۰	۷۰-۱۰۰	۷۰-۱۰۰	۷۰-۱۲۰	۸۰-۱۴۰	سطح خارجی m^2/g
-	-	-	-	۶۰۰-۷۰۰	۵۷۰-۶۶۰	سطح داخلی m^2/g
-	۰/۷	۱/۴	۱/۰	۱/۰-۱/۵	۱-۲	فضای بین لایه‌ای nm^{**}
۱۰۰-۵۵۰	۲-۵	۱۵-۴۰	۱۵-۴۰	۱۰۰-۱۸۰	۸۰-۱۲۰	بار خالص منفی $Cmol/kg$

* هر دونوع دی و تری اکتاهیدرال در رس‌های ۲:۱ یافت می‌شوند، اما صفات تری اکتاهیدرال در رس‌های کلریت غالب بوده ولی صفات دی اکتاهیدرال در سایر رس‌ها معمولاً غالب می‌باشد

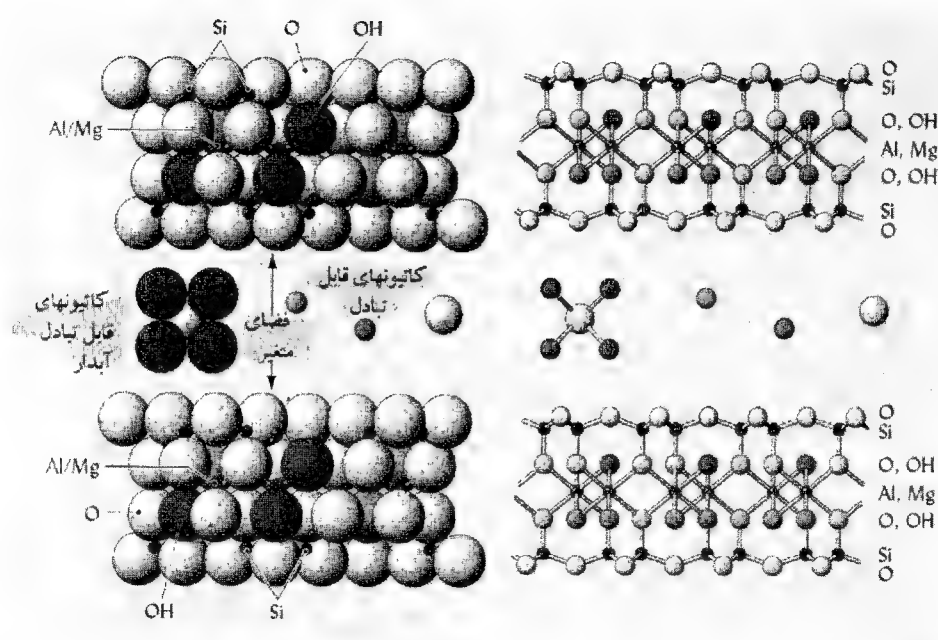
** از بالای یک لایه تا بالای لایه مجاور بر حسب نانومتر (nm) که 10^{-9} متر می‌باشد

*** تعیین سطح رس هموسی به‌طور دقیق مشکل است، کاربرد روش‌های مختلف مقادیری در دامنه ۲۰ - ۸۰۰ مترمربع در گرم بدست می‌دهد

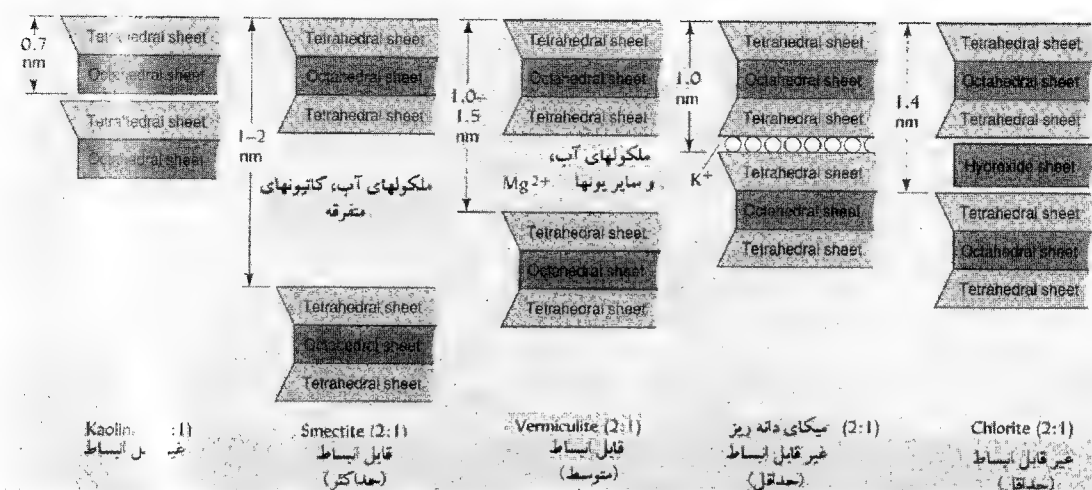
ورمی کولیت نیز یک کانی نوع ۲:۱ است یک صفحه اکتاهیدرال در بین دو صفحه تتراهیدرال قرار گرفته است. در ورمی کولیت در اکثر خاکها، صفحه اکتاهیدرال با غالبیت آلومینیوم می‌باشد (دی اکتاهیدرال)، گرچه ورمی کولیت‌های منیزیم دار (تری اکتاهیدرال) نیز موجود است. در لایه تتراهیدرال اکثر ورمی کولیت‌ها جانشینی قابل توجه آلومینیوم به جای سیلیس صورت گرفته و این دلیل عمده‌ی بار منفی بسیار بالای موجود در این کانی‌ها می‌باشد.

مولکول‌های آب همراه با منیزیم و دیگر یون‌ها به شدت در فضای بین لایه‌ای ورمی کولیت جذب شده‌اند (شکل ۷-۸)، گرچه آن‌ها عمدتاً همانند پل‌هایی می‌باشند که این واحدها را بهم اتصال می‌دهند (نه صفحاتی که آن‌ها را از هم جدا می‌سازد) بنابراین درجه انبساط در ورمی کولیت به‌طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از اسمکتیت می‌باشد. به این دلیل ورمی کولیت به‌عنوان کانی رسی با انبساط محدود نامیده می‌شود که از کائولینیت بیشتر اما از کانی‌های اسمکتیت به مراتب کمتر منبسط می‌گردد.

^۱ Vertisols



شکل ۶-۸ مدل دو لایه بلورین و یک بین لایه‌ای مشخصه‌ی مونت‌موریلونیّت از دسته کانی‌های رس اسمکتیت منبسط شونده نوع ۲:۱ می‌باشد. هر لایه از یک صفحه اکتاهیدرال (آلومینیوم) که بین دو صفحه چهاروجهی سیلیس قرار گرفته، با اتم‌های اکسیژن و رأس مشترک که صفحات را به‌همدیگر اتصال داده تشکیل شده است. کشش اندکی بین اتم‌های اکسیژن در زیر صفحه تتراهیدرون یک واحد و اتم‌های اکسیژن در بالای لایه تتراهیدرون واحد دیگر وجود دارد، و این امکان یک فضای آزاد و متغیر را در بین لایه‌ها فراهم می‌سازد که به‌وسیله‌ی آب و کاتیون‌های قابل تبادل اشغال شده است. این سطح داخلی به‌مراتب از سطح خارجی در اطراف بلورها بیشتر است. توجه داشته باشید که متییزم آلومینیوم را در بعضی محل‌ها در صفحه اکتاهیدرال جایگزین نموده است و به‌همین ترتیب بعضی از اتم‌های سیلیس در صفحه تتراهیدرال ممکن است به‌وسیله‌ی آلومینیوم جایگزین شوند. این جایگزینی سبب ایجاد بار منفی می‌شود که علت ظرفیت تبادل کاتیونی بالای این کانی رسی می‌باشد. یک نقاشی از آرایش ی‌ها در سمت راست نشان داده شده است.



شکل ۷-۸ نمای ساده‌شده که بیانگر سازمان لایه‌های اکتاهیدرال و تتراهیدرال در یک کانی نوع ۱:۱ (کائولینیت) و ۴ نوع کانی دیگر ۲:۱ است. صفحات اکتاهیدرال در هر نوع رس ۱-۲ می‌تواند با غالبیت آلومینیوم (دی‌اکتاهیدرال) و یا متییزم (تری‌اکتاهیدرال) باشد. هرچند در اکثر رس‌های کلریت صفحه تری‌اکتاهیدرال غالب بوده درحالی‌که صفحه‌ی دی‌اکتاهیدرال در بقیه رس‌های ۱:۲ غالب می‌باشد. توجه کنید که در رس کائولینیت لایه‌ها با پیوند هیدروژنی به‌هم اتصال یافته و این کانی غیرقابل انبساط است. حداکثر انبساط بین‌لایه‌ای، در رس اسمکتیت یافت می‌شود. در ورمی‌کولیت انبساط به‌خاطر نیروی پیوند متوسط بین‌های متییزم مقداری کمتر است. میکای دانه‌ریز و کلریت انبساط نمی‌یابند زیرا در اولی بین‌های پتاسیم و در دومی هیدراکسیدهای Fe و Mg، Al در یک صفحه‌ی اکتاهیدرال مانند لایه‌های ۲:۱ را به‌همدیگر اتصال می‌دهند. فاصله بین لایه‌ها برحسب نانومتر (10^{-9} متر) نشان داده شده است.

بار منفی کلریت باندازه‌ی میکای دانه‌ریز و به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کمتر از اسمکتیت و ورمی‌کولیت می‌باشد. همانند میکای دانه‌ریز، کلریت ممکن است دارای اسمکتیت و ورمی‌کولیت در بین لایه‌ها در یک بلور باشد. اندازه‌ی ذرات و اندازه‌ی سطح در کلریت در حدود میکای بافت ریز است. جذب آب در بین واحدهای بلور کلریت وجود ندارد، که در ارتباط با سرشت غیرقابل‌انقباض این کانی می‌باشد.

لایه‌های مخلوط و مطبق^۱

گروه‌های خاص کانی‌های رسی مستقل از همدیگر در خاک وجود ندارند. در یک خاک مشخص معمول این است که کانی‌های متعدد رسی در یک مخلوط یافت شوند به‌علاوه بعضی کانی‌های کلوئیدی دارای خصوصیات و ترکیبات حد واسط بین دو کانی کاملاً مشخص که تا حال تشریح شد می‌باشند این کانی‌ها تحت عنوان لایه‌های مخلوط و یا مطبق نامیده می‌شوند، زیرا لایه‌های انفرادی در داخل یک کانی ممکن است بیش از یک نوع باشد. واژه‌کانی مانند کلریت - ورمی‌کولیت، و یا میکای دانه‌ریز - اسمکتیت برای تشریح کانی‌ها با لایه‌های مخلوط به‌کار می‌روند (شکل ۹-۸)، در بعضی از خاک‌ها این کانی‌ها بسیار معمول‌تر از کانی‌های تک‌ساختمان مانند مونت‌موریلونیت می‌باشند.

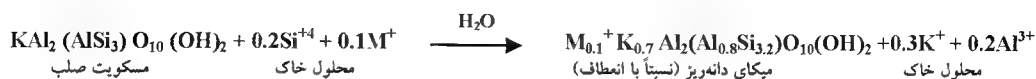
۶-۸ تکوین کلوئیدهای خاک

رس‌های سیلیکاتی

رس‌های سیلیکاتی حداقل به‌وسیله‌ی دو فرایند مشخص از هوادیدگی کانی‌های خیلی متفاوت ایجاد می‌شوند:

(۱) تغییر فیزیکی و شیمیایی^۲ اندک در کانی‌های اولیه و (۲) تجزیه‌ی کانی‌های اولیه^۳ و بلوری‌شدن مجدد مواد حاصل از تجزیه به‌صورت رس‌های سیلیکاتی، هر یک از این فرایندها مورد ملاحظه‌ی مختصر قرار خواهد گرفت.

تغییر و تبدیل: تغییراتی که در میکای مسکویت انجام گرفته تا به میکای دانه‌ریز تبدیل شود مثال خوبی از تغییر و تبدیل است. مسکویت یک کانی اولیه نوع ۲:۱ با ساختمان بلوری غیرانقباضی و فرمول $KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH)_2$ می‌باشد در صورت هوادیدگی کانی از نظر اندازه تخریب شده و به حد کلوئیدی می‌رسد، بخشی از پتاسیم از دست رفته و مقداری سیلیس همراه با کاتیون‌های بازاری، که به‌وسیله‌ی M^{+} نشان داده شده‌اند از محلول در طول هوادیدگی افزوده می‌شود، حاصل نهایی یک ساختمان بلوری با انعطاف‌پذیری بیشتر و وجود بارهای آزاد منفی در محل‌های اشغال‌شده به‌وسیله‌ی K^{+} می‌باشد. کلوئید میکای حاصل هنوز دارای ساختمان نوع ۲:۱ می‌باشد که فقط در طول فرایند تغییر و تبدیل یافته است. بعضی از این تغییرات که شاید بیش از حد ساده شده‌اند در پایین نشان داده شده است.



بلوری‌شدن مجدد: این فرایند شامل تجزیه‌ی کامل ساختمان بلوری و بلوری‌شدن دوباره کانی‌های رسی از محصولات این تجزیه است.

این فرایند حاصل از هوادیدگی بسیار شدیدتر از فرایند تغییر و تبدیل است که هم‌اکنون گفته شد.

مثالی از بلوری‌شدن مجدد، تشکیل کانولینیت (کانی رسی نوع ۱:۱) از محلول‌های حار آلومینیوم و سیلیس حاصل از تخریب کانی‌های اولیه^۴ با ساختمان نوع ۲:۱ می‌باشد. این دوباره بلوری‌شدن امکان تشکیل بیشتر از یک نوع رس را از یک کانی اولیه فراهم می‌سازد. کانی رسی تشکیل شده در ارتباط با شرایط هوادیدگی و یون‌های خاص حاضر در محلول هوادیدگی در هنگام بلوری‌شدن می‌باشد

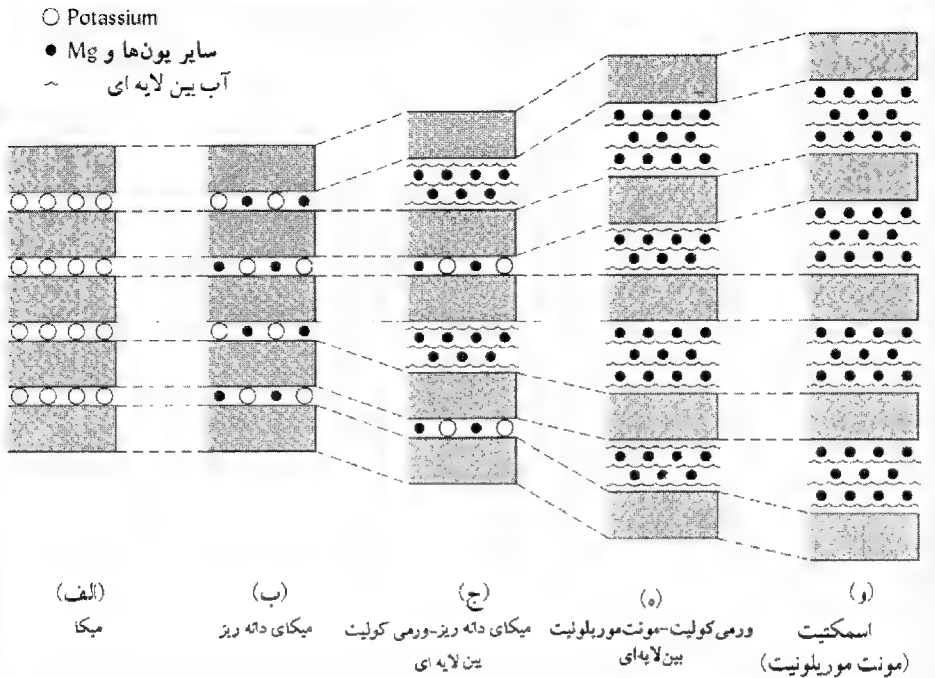
مراحل نسبی هوادیدگی: شرایط خیلی اختصاصی که منجر به تشکیل انواع مهم کانی‌های رسی می‌شود در شکل ۱۰-۸ نشان داده شده‌اند. توجه کنید که میکای دانه‌ریز و کلریت غنی از منیزیم مراحل اولیه‌ی هوادیدگی سیلیکات‌ها می‌باشند و کانولینیت و نهایتاً اکسیدهای آهن و آلومینیوم بیانگر پیشرفته‌ترین مراحل هوادیدگی می‌باشند. اسمکتیت (مونت‌موریلونیت) بیانگر مراحل حدواسط است، همان‌طور که در فصل ۱-۲ اشاره گردید، سیلیس با پیشرفت هوادیدگی از بین رفته و در افق‌های خیلی هوادیده نسب $Si:Al$ پایین می‌آید.

¹ - Mixed and Interstratified layers

² - Physical & Chemical Alteration

³ - Decomposition & recrystallization

⁴ - Breakdown of primary minerals



شکل ۸-۹ اختلافات ساختمانی در بین کانی‌های سیلیکاتی و مخلوط‌های آنها. میکاهای حاوی پتاسیم (الف) با ساختمان بلوری صلب بخشی از پتاسیم خود را از دست داده و به میکای دانه‌ریز، تبدیل می‌شود که کمتر صلب بوده و کاتیون‌های قابل تبادل را در فضای بین لایه‌ای جذب می‌کند (ب). در مراحل پیشرفته‌تر هوازدگی (ج) پتاسیم از بین بعضی لایه‌های ۲:۱ آیشویی شده. آب و یون‌های متی‌زیم لایه‌ها را به هم پیوند داده و رس‌های مطبق بین لایه‌ای میکای دانه‌ریز-ورمی کولیت به وجود می‌آید. هوازدگی فزون‌تر سبب از بین رفتن پتاسیم بیشتر می‌شود. هوازدگی بیشتر سبب ایجاد رس اسمکتیت (ه) می‌شود که کانی بسیار انبساط‌پذیری می‌باشد. اسمکتیت نیز به نوبه‌ی خود در معرض هوازدگی قرار گرفته و به کائولینیت و اکسیدهای آهن و آلومینیوم تبدیل می‌شود. گرچه اکثر کانی‌های اسمکتیت در واقع به وسیله‌ی فرایندهای دیگر تشکیل می‌شوند، توالی مورد نظر در اینجا رابطه ساختمانی اسمکتیت را با سایر کانی‌ها تشریح می‌کند.

تکوین رس‌های سیلیکاتی انفرادی: فرایندهای مختلفی وجود دارند که طی آنها رس‌های انفرادی تشکیل می‌شوند برای مثال میکای دانه‌ریز و کلریت معمولاً به ترتیب از تغییر و تبدیل میکاهای مسکویت و بیوتیت ایجاد می‌شوند. ورمی کولیت نیز می‌تواند طی همین فرایند ایجاد شود. گرچه آنها و اسمکتیت‌ها می‌توانند محصولات حاصل از هوازدگی میکای دانه‌ریز و کلریت باشند، اسمکتیت همچنین ممکن است از فرایند بلوری شدن مجدد تحت شرایط هوازدگی خفیف یا قلیایی حاصل شود. کائولینیت پراثر تبلور مجدد تحت هوازدگی نسبتاً شدید اسیدی، که سبب از بین رفتن اکثر کاتیون‌های فلزی است، تشکیل می‌شود هوازدگی شدید تحت شرایط گرم و مرطوب مناطق استوایی معمولاً سبب ایجاد اکسیدهای آهن و آلومینیوم می‌گردد (شکل ۱۰-۸).

اکسیدهای آهن و آلومینیوم

گوتیت^۲ (FeOOH) و هماتیت^۳ (Fe₂O₃) دو کانی بسیار معمول آهن در خاک‌ها می‌باشند آنها حاصل هوازدگی کانی‌های سیلیکاتی اولیه حاوی آهن می‌باشند. آهن معمولاً در ظرفیت پایین بوده که بعد از تخریب شبکه کانی آزاد گردیده، اما به سرعت اکسید شده و تشکیل آهن سه ظرفیتی خیلی نامحلول را می‌دهد. گوتیت در مناطق معتدل و مرطوب نیز غالب بوده در حالی که هماتیت با رنگ قرمز شدید در شرایط گرمسیری و خشک‌تر فراوان و حتی غالب می‌باشد.

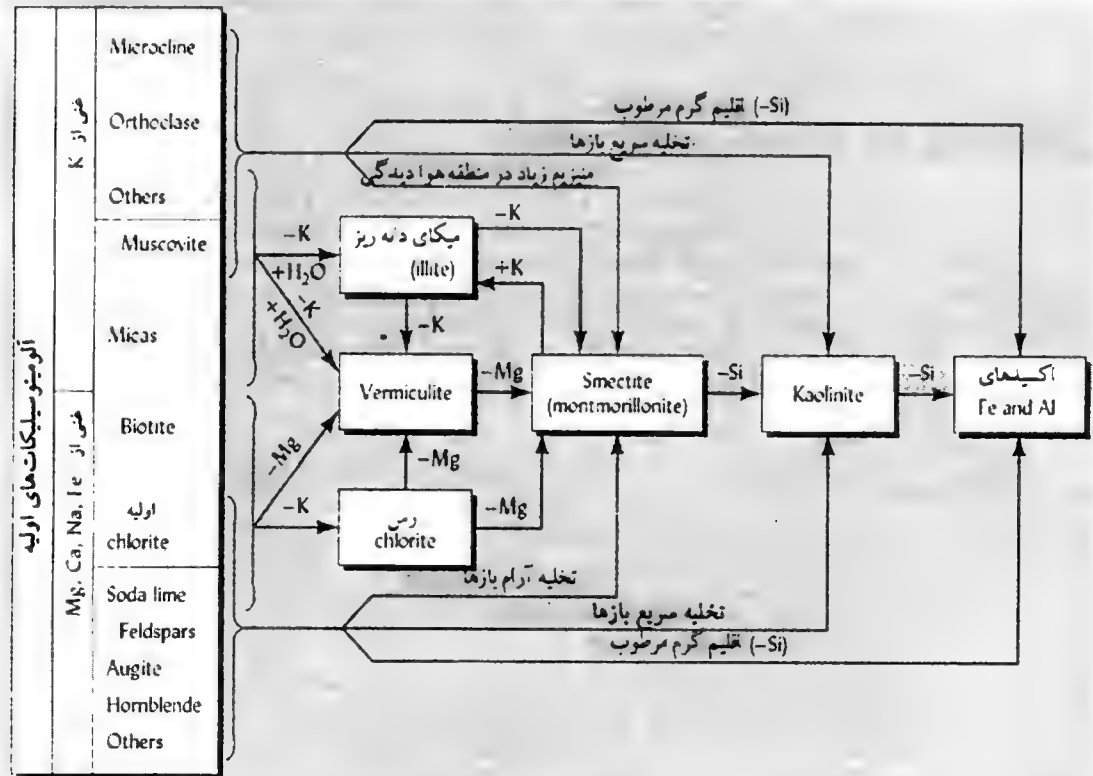
^۱- Hydrrous oxides

^۲- Goethite

^۳- Hematite

گیسایت^۱ $Al(OH)_3$ که معمول‌ترین اکسید آلومینیوم موجود در خاک‌ها می‌باشد حاصل هوازدگی تعدادی از سیلیکات‌های آلومینیوم و سیلیس است. یون‌های هیدروژن به جای کاتیون‌های بازی نشسته، چهارچوب کانی فرو ریخته، آلومینیوم و سیلیس آزاد می‌شوند. آلومینیوم آزاد شده از تخریب بعضی سنگ‌های بازی مانند گابرو، بازالت مستقیماً به صورت گیسایت ته‌نشین می‌شود. هوازدگی سنگ‌های اسیدی مانند گرانیت و نیس ابتدا تولید کائولینیت و هالوسیت کرده که سپس از هوازدگی بیشتر گیسایت حاصل می‌شود. گیسایت بیانگر پیشرفته‌ترین مراحل هوازدگی در خاک است.

جالب توجه است که اشاره کنیم جانشینی هم‌شکل Al^{3+} برای Fe^{3+} و بالعکس در میان اکسیدهای این عناصر صورت می‌گیرد. هرچند از آن‌جاکه Fe^{3+} و Al^{3+} دارای ظرفیت مساوی می‌باشند این جانشینی اثری بر روی میل ندارد.



شکل ۸-۱۰ شرایط کلی برای تشکیل رس‌های لایه‌ای سیلیکاتی مختلف و اکسیدهای آهن و آلومینیوم. میکای دانه‌ریز، کلریت و ورمیکولیت در طی هوازدگی کم از کانی‌های آلومینوسیلیکات اولیه تشکیل می‌شوند در صورتی که کائولینیت و اکسیدهای آهن و آلومینیوم حاصل هوازدگی خیلی شدیدتر می‌باشند. شرایط هوازدگی با شدت حد متوسط سبب ایجاد اسمکتیت می‌شود. در هر مورد، تکونین رس سیلیکاتی همراه با حذف عناصری مانند Ca , Na , Mg و K در محلول می‌باشد.

آلوفان^۲ - ایموگلیت^۳:

دانش نسبتاً کمی در مورد عوامل مؤثر در تشکیل آلوفان و ایموگلیت موجود است به‌جز این‌که می‌دانیم آن‌ها معمولاً همراه مواد با منشاء آذرین بیرونی می‌باشند. آن‌ها همچنین از سنگ‌های آذرین به‌وجود آمده و در بعضی از اسیدوسول‌ها یافت می‌شوند. خاکسترهای آتشفشانی مقادیر قابل توجهی از $Si(OH)_x$ و $Al(OH)_x$ آزاد می‌کنند، که به‌صورت ماده بی‌شکل ژلاتینی (آلوفان) در زمان نسبتاً اندکی رسوب می‌کنند. این کانی‌ها معمولاً دارای سرشت غیربلوری می‌باشند، گرچه ایموگلیت دارای سازمانی از ابعاد مساوی بوده و به‌نظر می‌رسد که حاصل مرحله پیشرفته‌تری از هوازدگی در مقایسه با آلوفان باشد.

^۱- Gibbsite

^۲- Allophane

^۳- Imogolite

هوموس^۱

تجزیه و تغییر پس مانده های گیاهی به وسیله زیواچه ها و بازسازی مجدد یک ترکیب آلی جدید پایدارتر در فرایند، سبب ایجاد یک ماده ی کلوییدی آلی سیاه رنگ به نام هوموس می باشد (فصل ۴-۱۲ را مطالعه کنید).
واحدهای ساختمانی آلی همراه با تجزیه و بازسازی سبب ایجاد محل های بار برای جذب کاتیون ها و آنیون ها می گردد.

۷-۸ توزیع جغرافیایی رس ها

رس در هر خاک به خصوص معمولاً از مخلوط کانی های کلوییدی مختلفی تشکیل شده است. در یک خاک مورد نظر مخلوط کلوییدی ممکن است افق به افق متغیر باشد. این مسأله به این دلیل صورت می پذیرد که نوع رس که تکامل می یابد نه تنها وابسته به تأثیر اقلیم و شرایط خاکرخ است، بلکه وابسته به سرشت ماده ی مادری نیز می باشد. موقعیت ممکن است با حضور رس در ماده ای که در رژیم های آب و هوایی قبلی کاملاً متفاوت ایجاد شده است بیشتر غامض گردد. هر چند انجام برآوردهای کلی بر اساس روابط نشان داده در شکل ۱۰-۸ امکان پذیر می باشد.

اختلافات در رده های خاک

جدول ۴-۸ نشان دهنده کانی های رس غالب در رده های مختلف خاک می باشد که شرح آنها در فصل ۳ ارائه شده است. اکسی سول ها با هوادیدگی شدید و زهکشی خوب در مناطق گرمسیری مرطوب و نیمه مرطوب دارای کائولینیت همراه اکسیدهای آهن و آلومینیوم می باشند. این نوع رس ها در رده الی سول ها نیز، که عمدتاً در بخش جنوب شرق آمریکا قرار دارند به مقدار فراوان دیده می شوند.

گروه های رس های اسمکتیت، ورمی کولیت و میکای دانه ریز در خاک های الفی سول، مولی سول و ورتی سول که در آنها هوادیدگی خیلی شدید نیست به مقدار فراوان یافت می شوند. این رس ها در بخش شمالی ایالات متحده، کانادا و مناطق با دماهای مشابه آنها در سراسر جهان معمول می باشند. وقتی ماده ی مادری از میکا غنی باشد، معمولاً میکای دانه ریز مانند ایلیت ایجاد خواهد شد. مواد مادری غنی از کاتیون های فلزی (به خصوص منیزیم) و یا دارای زهکشی ضعیف که از آبشویی این کاتیون ها ممانعت می کند، سبب ایجاد کانی اسمکتیت می شود بنابراین به نظر می رسد میکای دانه ریز و اسمکتیت در خاک های اریدی سول به مراتب بیشتر از مناطق مرطوب تر یافت شوند.

تأثیر شدید مواد مادری در توزیع جغرافیایی رس ها را می توان در نوار سیاه ورتی سول های آلاباما، می سی سی پی و تگزاس مشاهده کرد این خاک ها که دارای رنگ تیره هستند، از مواد مادری دریایی غنی از بازها تکامل یافته اند و رس های اسمکتیت در آنها غالب می باشد خاک های اطراف آنها که از مواد مادری مختلف دارای باز کمتر تشکیل شده اند از کائولینیت و اکسیدهای آبدار غنی می باشند. این رس ها بیشتر معرف مناطق گرم و مرطوبند. شرایط مشابهی در هندوستان مرکزی و سودان موجود است.

گرچه چند جمع بندی کلی گسترده در ارتباط با توزیع جغرافیایی خاک ها امکان پذیر است، این نمونه ها مطرح می کنند که مواد مادری محلی و شرایط هوادیدگی، نوع کانی رسی را که در خاک ها یافت می شوند مشخص می کنند.

جدول ۴-۸ وجود فراوان کانی های رسی در رده های مختلف خاک در آمریکا و محل های نمونه برای این خاک ها

رده خاک	شدت هوادیدگی عمومی	موقعیت شاخص در آمریکا	اکسیدهای Fe-Al	کائولینیت	اسمکتیت	میکای دانه ریز	ورمی کولیت	کلیت	مخلوط
اریدی سول	اندک	مناطق خشک	---	-	xx	xx	-	x	x
ورتی سول	↑	آلاباما - تگزاس	---	-	xxx	---	-	-	x
مولی سول	↑	مرکزی	---	x	xx	x	x	x	x
الفی سول	↑	اوهاو - پنسیلوانیا - نیویورک	---	x	x	x	x	x	x
اسپدوسول	↓	نیو انگلند	x	x	-	---	-	-	-
الی سول	↓	جنوب شرقی	xx	xxx	-	---	x	x	x
اکسی سول	↓	هاوایی - پرتریکو	xx	xxx	-	---	-	-	-

^۱ - Humus

۸-۸ منابع بار بر روی کلوئیدهای خاک

دو منبع عمده بار بر روی کلوئیدهای خاک وجود دارد (۱) هیدراکسید و سایر گروه‌های عامل بر روی سطوح ذرات کلوئیدی است که با آزاد کردن یا قبول H^+ می‌توانند سبب ایجاد بار مثبت یا منفی گردند. (۲) عدم تعادل بار حاصل از جانشینی هم‌شکلین‌های هم‌اندازه اما دارای بار متفاوت بر روی ساختمان بعضی از بلورهای رس است.

تمام کلوئیدها آلی و معدنی بارهای سطحی را در ارتباط با گروه‌های OH به نمایش می‌گذارند که عمدتاً وابسته به pH می‌باشند. اکثر بارهای همراه با هموس و رسهای ۱:۱، اکسیدهای آهن و آلومینیوم و آلفان از این نوع می‌باشند. در مورد رس‌های ۲:۱، این بار سطحی به وسیله تعداد زیادتری از بارها بر اثر جانشینی هم‌شکل دو کاتیون تکمیل می‌شود. از آن‌جاکه این بارها وابسته به pH نمی‌باشند، به آن‌ها بارهای دائم و یا بار ثابت گفته می‌شود، ما ابتدا این بارهای ثابت را مورد بررسی قرار می‌دهیم. همان‌طور که در بخش ۴-۸ گفته شد، این بارها هم می‌توانند مثبت و هم منفی باشند.

۸-۹ بارهای ثابت بر روی رس‌های سیلیکاتی

بار منفی خالص در کانی‌هایی یافت می‌شود که در آن‌ها جانشینی هم‌شکلین‌ها با ظرفیت کم (مانند Mg^{2+}) به جای این‌ها با ظرفیت بالا (مثلاً Al^{3+}) صورت گرفته باشد، این جانشینی معمولاً در صفحات دی‌اکتاهیدرال با غلبه آلومینیوم صورت می‌گیرد. همان‌طور که در شکل ۸-۱۱ نشان داده شده است این جایگزینی سبب ایجاد یک بار منفی خشی‌نشده می‌شود، جانشینی Mg^{2+} به جای Al^{3+} منبع مهمی از بار منفی در کانی‌های رسی اسمکتیت، ورمی‌کولیت و کلریت می‌باشد.

نمونه دوم جانشینی Al^{3+} به جای Si^{4+} در صفحه تتراهیدرال است، که آن نیز سبب ایجاد یک بار منفی خشی‌نشده می‌گردد، این مسأله می‌تواند به صورت زیر با فرض دو اتم سیلیس همراه با ۴ اتم اکسیژن در یک واحد دارای بار خشی‌نشده مورد تشریح قرار گیرد.

صفحه تتراهیدرال بدون جانشینی



بدون بار

Al^{3+} جانشین Si^{4+} شده است



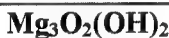
یک بار منفی

این جانشینی در چندین کانی رسی سیلیکاتی مهم مانند میکای دانه‌ریز، ورمی‌کولیت و حتی اسمکتیت معمول می‌باشد.

بارهای مثبت

جانشینی هم‌شکل، در صورتی که این جانشین شونده دارای ظرفیت بالاتری نسبت به این جانشین شده باشد، می‌تواند منبعی برای بار مثبت باشد. در یک صفحه تری‌اکتاهیدرال، سه این منیزیم به وسیله اکسیژن و گروه‌های هیدراکسید احاطه شده‌اند و صفحه فاقد بار است اگر یک Al^{3+} جایگزین یک Mg^{2+} گردد، یک بار خالص مثبت ایجاد خواهد شد.

صفحه تری‌اکتاهیدرال بدون جانشینی



بدون بار

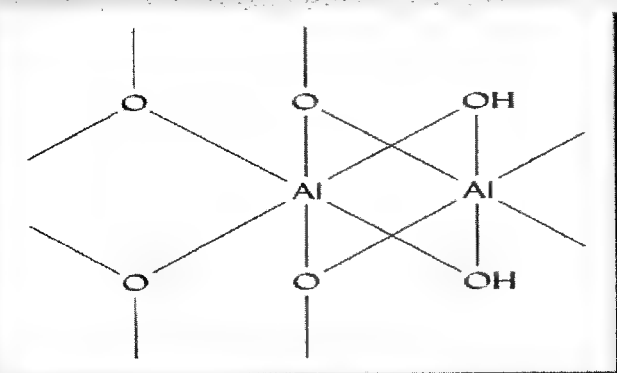
Al^{3+} به جای Mg^{+2}



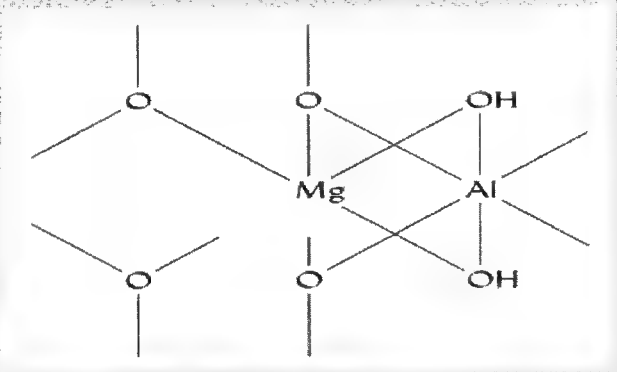
یک بار مثبت اضافی

چنین بارهای مثبت خصوصیت صفحه تری‌اکتاهیدرال هیدراکسید بین‌لایه‌ای در بعضی از کانی‌های رسی مانند کلریت می‌باشد. باری که اضافه بر بار منفی صفحه تتراهیدرال می‌باشد. در حقیقت در بعضی از رس‌های سیلیکاتی ۲:۱ از جمله کلریت و اسمکتیت (جانشینی می‌تواند در هر دو صفحه اکتاهیدرال و تتراهیدرال صورت گیرد. خالص بار در این رس‌ها از تعادل بارهای مثبت و منفی بدست می‌آید. گرچه در تمام رس‌های سیلیکاتی ۲:۱ خالص بار منفی است، زیرا جانشینی که سبب ایجاد بار منفی شده است به مراتب بیشتر از آنهایی است که سبب ایجاد بار مثبت می‌شوند.

جانشینی هم‌شکل که هم‌اکنون تشریح شد در طی چرخه‌های هوازدگی گذشته به آرامی صورت گرفته و به آسانی در معرض تغییر نمی‌باشد بنابراین این بارها تحت واژه ثابت و یا دائمی نامیده شده زیرا مربوط به ترکیب شیمیایی رس‌های سیلیکاتی می‌باشند.



الف) بدون جانشینی



ب) یا جانشینی
به جای Mg^{2+} Al^{3+}

شکل ۸-۱۱ نمایش اتمی در صفحه اکتاهیدرال در رس سیلیکاتی (الف) بدون جانشینی (ب) با یک ین نیزیم جایگزین شده به جای یک ین آلومینیوم. وقتی جانشینی انجام نشده است سه بار مثبت آلومینیوم به وسیله ی ۳ بار منفی ۶ گروه اکسیژن و یا هیدراکسیل خنثی می شود. در صورت جایگزینی نیزیم به جای آلومینیوم، فقط دو بار منفی متعادل گردیده است و یک بار منفی خنثی نشده باقی می ماند که با جذب یک کاتیون می تواند خنثی شود.

ترکیب شیمیایی و بار الکتریکی

به دلیل جانشینی ینی متعدد، که هم اکنون مورد بحث قرار گرفت، فرمول های ساده شیمیایی برای تشخیص رس به طور خاص قابل استفاده نمی باشند. هر چند فرمول های نمونه برای رس های سیلیکاتی عمده که در جدول ۸-۵ نشان داده شده است می توانند برای تشریح منابع بار مثبت و منفی در صفحات چهاروجهی و ۸ وجهی مورد استفاده قرار گیرند. به این فرمول ها به طور معمول فرمول های ساختمانی و یا واحد لایه ای^۱ گفته می شود.

توجه کنید در جدول ۸-۵ جانشینی ینی برای کانولینیت دیده نمی شود گرچه گاهی از این جانشینی ها وجود دارد. بیشتر بار منفی در این کلویید به وسیله ی گروه OH تأمین می گردد. تمام کانی های دیگر رس که در جدول ۸-۵ نشان داده شده اند، بار خود را (منفی و/ یا مثبت) مدیون جانشینی هم شکل می باشند. این جدول باید برای مشخص کردن منابع بار، و همچنین بار خالص بر روی میسل از کانی های در فهرست آمده مورد مطالعه قرار گیرد.

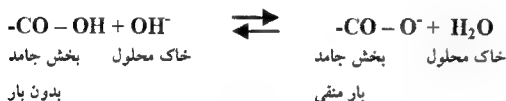
۸-۱۰ بار وابسته به pH

منبع دیگری برای بار در روی بعضی از رس های سیلیکاتی (مانند کانولینیت)، هموس، آلفان و هیدراکسیدهای آهن و آلومینیوم وجود دارد. به خاطر این که بارها وابسته به pH خاک است، به آن ها بار متغیر و یا بار وابسته به pH می گویند. هم بار مثبت و هم بار منفی از این منبع تأمین می شود.

^۱ - Unit layer formulae , Structural formulae

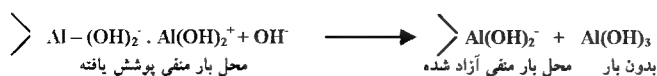
بار منفی

بارهای وابسته به pH عمدتاً همراه با گروه‌های هیدراکسیل (OH) بر روی لبه وسط کلوئیدهای آلی و معدنی می‌باشد (شکل ۱۲-۸). گروه OH به آهن و/ یا آلومینیوم در کلوئیدهای معدنی (برای نمونه $Al-OH$) و به کربن در گروه CO در هموس مانند $-CO-$ OH چسبیده‌اند. تحت شرایط اسیدی متوسط باری بر روی این ذرات یا وجود ندارد و یا کم است، اما با افزایش pH، این هیدروژن از یون هیدراکسیل کلوئید جدا می‌شود و بار منفی حاصل می‌شود:



همان‌طور که به وسیله پیکان‌ها (\rightleftharpoons) مشخص شده، واکنش‌ها قابل برگشت است. اگر pH افزایش یابد بیشتری برای راندن واکنش به سمت راست وجود خواهد داشت و بار منفی بر روی ذره رسی افزایش خواهد یافت. اگر pH پایین آورده شود غلظت یون OH^- کاهش پیدا کرده و واکنش به سمت چپ بر خواهد گشت و بار منفی کاهش خواهد یافت. مشاهده وابستگی بار به pH در این کلوئیدها آسان است.

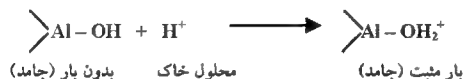
منبع دیگر برای افزایش بار منفی در اثر افزایش pH برداشت بار مثبت همتافت هیدراکسید آلومینیوم ($Al(OH)_2^+$) است. در pH پایین این یون‌ها محل‌های منفی را در روی رس‌های سیلیکاتی پوشانده (نمونه ورمی‌کولیت) و آن‌ها را از تبادل کاتیونی باز می‌دارند با بالا رفتن pH، یون‌های $Al(OH)_2^+$ با OH در محلول خاک برای تشکیل $Al(OH)_3$ وارد واکنش شده و سبب آزاد شدن محل بارهای منفی می‌شوند.



این سازوکار افزایش بار منفی دارای اهمیت ویژه‌ای در خاک‌های غنی از هیدراکسیدهای آهن و آلومینیوم، همانند آن‌ها که در جنوب شرق آمریکا و مناطق حاره‌ای یافت می‌شوند.

بار مثبت

تحت شرایط متوسط تا شدید اسیدی، ممکن است بعضی از رس‌های سیلیکاتی، هیدراکسیدهای آهن و آلومینیوم بار مثبت را به نمایش بگذارند. در این فرایند گروه‌های OH آشکار شده دخیل می‌باشند. در این حالت با اسیدی شدن بیشتر خاک اتصال یون‌های H^+ به منبع گروه‌های OH صورت می‌پذیرد (پروتونی شدن). ممکن است واکنش برای رس‌های سیلیکاتی به صورت زیر نشان داده شود.



بنابراین، در بعضی موارد همان محل در روی کلوئید معدنی ممکن است مسئول بار منفی (pH بالا) بدون بار (pH متوسط) و یا بار مثبت (pH خیلی پایین باشد). واکنش هنگامی که pH یک خاک خیلی قلیایی کاهش می‌یابد ممکن است به صورت زیر تشریح گردد.



از آن‌جا که مخلوط خاک متشکل از هموس و کلوئیدهای متعدد معدنی معمول است، شگفت‌انگیز نخواهد بود که بارهای مثبت و منفی همزمان در خاک به نمایش گذاشته شوند. در بیشتر خاک‌های مناطق معتدل میزان بار منفی به مراتب بیشتر از بار مثبت است (جدول ۶-۸). هر چند در بعضی از خاک‌های اسیدی (مناطق حاره‌ای) دارای هیدراکسیدهای آهن و آلومینیوم زیاد یا آلفان بار کلی خالص کلوئید ممکن است مثبت باشد. اثر pH خاک بر بارهای مثبت و منفی در این خاک‌ها در شکل ۱۳-۸ تشریح شده است.

خصوصیات بار برای کلوییدهای انتخاب شده خاک‌ها در جدول ۶-۸ نشان داده شده است. به درصد بالای بار منفی ثابت در بعضی رس‌های ۲:۱ (برای نمونه اسمکتیت و ورمی‌کولیت) توجه کنید. هموس، کائولینیت، آلفان و اکسیدهای آهن و آلومینیوم عمدتاً دارای بار متغیر (بار وابسته به pH) منفی داشته و در pH خیلی پایین بار مثبت نسبتاً اندکی را نشان می‌دهند.

جذب کاتیون و آنیون

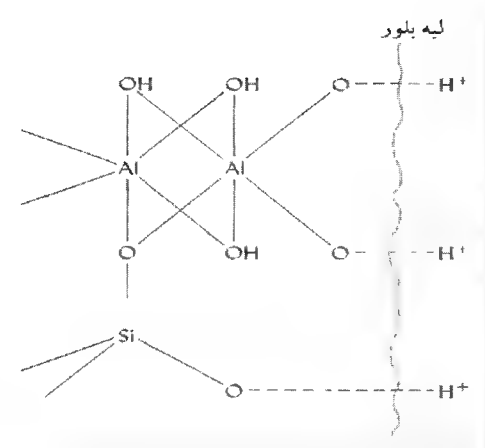
بارهای همراه با ذرات خاک سبب جذب یون‌های ساده و هم‌تافت با بار مخالف می‌شود. بنابراین ممکن است یک مخلوط کلوییدی نه تنها دارای بارهای مثبت و منفی سطحی در هر پیچ‌وخم باشد، بلکه همین‌طور دارای گروه‌های هم‌تافت و ساده از کاتیون‌ها و آنیون‌های مانند Ca^{2+} و SO_4^{2-} باشد که به‌وسیله‌ی بار ذره جذب شده است. شکل ۸-۱۴ نشان می‌دهد که چگونه کلوییدهای خاک عناصر معدنی چنان مهم برای جذب گیاهان را جذب می‌کنند. آنیون‌های جذب‌شده معمولاً در مقادیر کمتری نسبت به کاتیون‌ها حضور دارند زیرا بار منفی اغلب در کلوییدهای خاک به‌خصوص در خاک‌های مناطق معتدل غالب می‌باشد. در خاک‌های بیشتر هوادیده اسیدی در گرمسیر، که رس‌های ۱:۱ و اکسیدهای Al و Fe غالب می‌باشند، تبادل آنیونی نسبتاً بیشتر است.

حال به ملاحظه تبادل یون‌ها در بین میسل و محلول خاک پرداخته و مسأله را اول با تبادل کاتیونی آغاز می‌کنیم.

جدول ۵-۸ فرمول واحد لایه‌ای نمونه برای چند نوع رس و دیگر کانی‌های سیلیکاتی نشان‌دهنده‌ی کاتیون‌های ۴ وجهی و ۸ وجهی، و همین‌طور آنیون‌های همراه، بار در واحد فرمول، اجزای ثابت و قابل‌تعویض بین‌لایه‌ای (توجه کنید بار در واحد فرمول جمع بار در صفحه‌های تتر و اکتاهیدرال است. این بارهای منفی با بارهای مثبت در بین لایه‌ها به تعادل رسیده است)

کانی	صفحه‌ی تترا هیدرال	صفحه‌ی تترا هیدرال	آنیون‌های همراه	بار در واحد فرمول	اجزا بین لایه‌ای	
					ثابت	* قابل تبادل
کانی‌های ۱:۱						
کائولینیت (دی‌اکتاهیدرال)	Al ₂	Si ₂	O ₅ (OH) ₄	0	-	-
سروپتین (تری‌اکتاهیدرال)	Mg ₃	Si ₂	O ₅ (OH) ₄	0	-	-
کانی‌های دی‌اکتاهیدرال ۲:۱						
پیروفیلیت	Al ₂	Si ₄	O ₁₀ (OH) ₂	0	-	-
مونت‌موریلونیت	Al _{1.7} Mg _{0.3} -0.3	Si _{3.9} و Al _{0.1} -0.1	O ₁₀ (OH) ₂	-0.4	-	M _{0.4} ⁺
بیدیلیت	Al ₂	Si _{3.6} و Al _{0.4} -0.4	O ₁₀ (OH) ₂	-0.4	-	M _{0.4} ⁺
ناترونیت	Fe ₂	Si _{3.6} و Al _{0.4} -0.4	O ₁₀ (OH) ₂	-0.4	-	M _{0.4} ⁺
ورمی‌کولیت	Al _{1.7} Mg _{0.3} -0.3	Si _{3.6} و Al _{0.4} -0.4	O ₁₀ (OH) ₂	-0.7	XH ₂ O	M _{0.7} ⁺
میکای ریز (ایلیت)	Al ₂	Si _{3.2} و Al _{0.8} -0.8	O ₁₀ (OH) ₂	-0.8	K ⁺ _{0.7}	M _{0.1} ⁺
مسکویت	Al ₂	Si ₃ Al -1.0	O ₁₀ (OH) ₂	-1	K ⁺	-
کانی‌های تری‌اکتاهیدرال ۲:۱						
تالک	Mg ₃	Si ₄	O ₁₀ (OH) ₂	0	-	-
ورمی‌کولیت	Mg _{2.7} Fe ³⁺ _{0.3} +0.3	Si ₃ Al -1.0	O ₁₀ (OH) ₂	-0.7	XH ₂ O	M _{0.7} ⁺
کانی تری‌اکتاهیدرال ۲:۱:۱						
کلریت	Mg _{2.6} Fe ³⁺ _{0.4} +0.4	Si _{2.5} (Al-Fe) _{1.5} -1.5	O ₁₀ (OH) ₂	-1.1	Mg ₂ Al(OH) ₆ ⁺	M _{0.1} ⁺

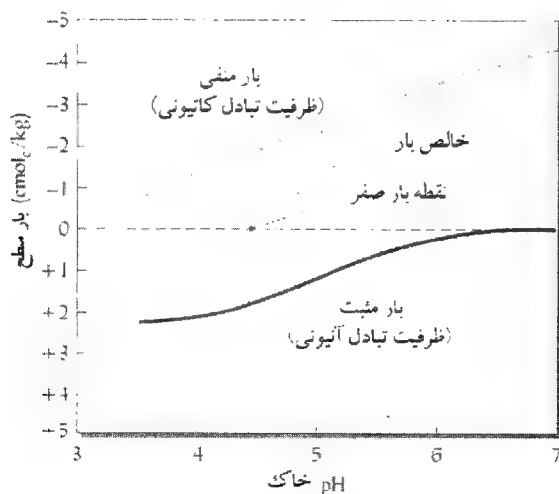
* کاتیون‌ها قابل تبادل مانند Ca^{2+} و Mg^{2+} و H^{+} به‌وسیله‌ی یون M^{+} نشان داده شده است.



شکل ۸-۱۲ نمودار یک لایه‌ی شکسته از بلور کائولینیت که نشان‌دهنده اکسیژن به‌عنوان منبع بار منفی می‌باشد. در pH بالا اتم‌های H به سستی نگهداری شده و می‌توانند با بقیه‌ی کاتیون‌ها مورد تبادل قرار گیرند.

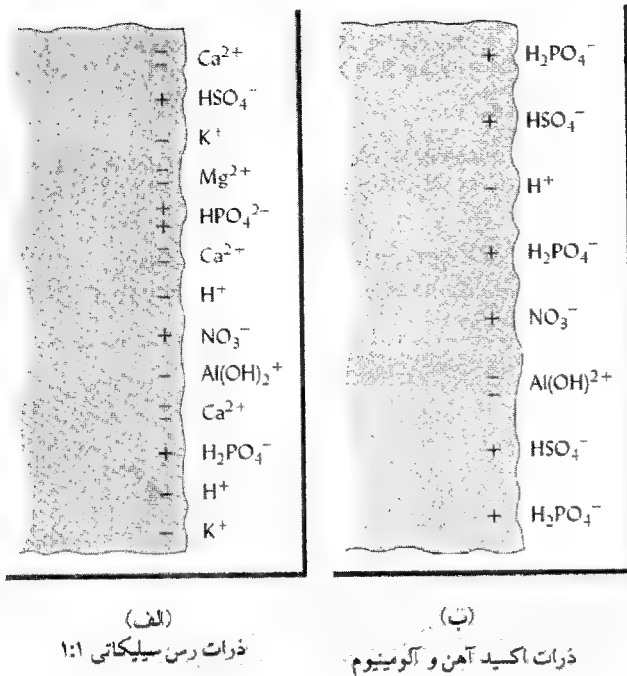
جدول ۸-۶ خصوصیات بار کلویدهای معرف نشان‌دهنده میزان نسبی بار دائم (ثابت) و بار منفی و مثبت وابسته به pH

نوع کلوید	بار منفی			بار مثبت سانتی مول در کیلوگرم
	کل بار در pH مساوی هفت سانتی مول در کیلوگرم	ثابت %	وابسته به pH %	
آلی	۲۰۰	۱۰	۹۰	۰
اسمکتیت	۱۰۰	۹۵	۵	۰
ورمی کولیت	۱۵۰	۹۵	۵	۰
میکای بافت ریز	۳۰	۸۰	۲۰	۰
کلریت	۳۰	۸۰	۲۰	۰
کائولینیت	۸	۵	۹۵	۲
گیسایت Al	۴	۰	۱۰۰	۵
گویت Fe	۴	۰	۱۰۰	۵
آلوفان	۳۰	۱۰	۹۰	۱۵



شکل ۸-۱۳ رابطه‌ی بین pH خاک و بارهای مثبت و منفی روی افق‌های سطحی خاک اکسی سول در مالزی. با افزایش pH خاک بار منفی (ظرفیت تبادل کاتیونی) افزایش و بار مثبت (ظرفیت تبادل آنیونی) کاهش می‌یابد. نقطه بار صفر^۱ حدود ۴/۴ است.

^۱ - Point of zero charge



شکل ۸-۱۴ تشریح کاتیون‌ها و آنیون‌های جذب شده در یک خاک اسیدی یا (الف) یک رس سیلیکاتی ۱:۱ و (ب) ذرات اکسید آهن و آلومینیوم. به غالبیت بارهای منفی بر روی رس سیلیکاتی، و بارهای مثبت بر روی ذرات آهن و آلومینیوم، توجه کنید.

۸-۱۱ تبادل کاتیونی

در فصل ۸-۳ نشان داده شد که کاتیون‌های مختلف جذب شده به وسیله همتافت جذبی^۱ می‌توانند به وسیله دیگر کاتیون‌ها در فرایندی به نام تبادل کاتیونی جایگزین شوند. برای مثال یون‌های هیدروژن که با تجزیه ماده آلی ایجاد می‌شوند (فصل ۶-۹ را مشاهده کنند) می‌توانند کلسیم و سایر کاتیون‌های فلزی را از همتافت کلوییدی جابه‌جا کنند. این فرایند می‌تواند به شکل زیر که فقط یک کلسیم جذب شده جایگزین می‌شود نشان داده شود.

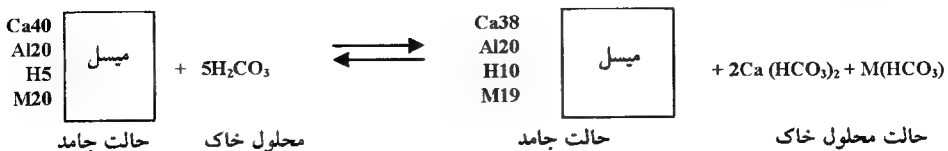


واکنش به سرعت انجام می‌پذیرد و مبادله کلسیم و هیدروژن از نظر شیمیایی به صورت بار متعادل می‌باشد. همان‌طور که با جفت پیکان (\rightleftharpoons) نشان داده شده است، واکنش قابل برگشت است و اگر کلسیم اضافه شود به چپ بر می‌گردد.

تبادل کاتیونی در تحت شرایط طبیعی

همان‌طور که در خاک‌های سطحی مناطق معتدل صورت می‌گیرد، واکنش تبادل یونی مقداری پیچیده‌تر، اما اصول تشریح شده در مبادله ساده قابل کاربرد است. به خاطر سادگی فرض کنید که تعداد Ca^{2+} و Al^{3+} و H^+ و دیگر کاتیون‌های فلزی مانند Mg^{2+} و K^+ (به وسیله M^+ مشخص می‌شوند) به نسبت ۴۰، ۲۰، ۵ و ۲۰ به ترتیب در میسل باشند. (کاتیون‌های فلزی معرفی شده به وسیله M^+ در این مثال یک ظرفیتی در نظر گرفته می‌شوند)

هیدروژن اسید کربنیک با میسل مطابق زیر واکنش انجام خواهد داد:



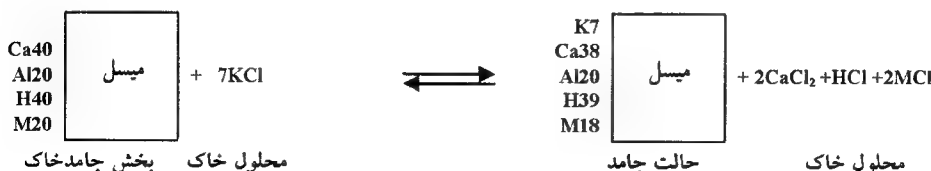
^۱ Exchange complex — این واژه تمام کلویدهای آلی و معدنی خاک را که قادر به نگهداری و تبادل کاتیونی می‌باشند در بر می‌گیرد

وقتی بارندگی کافی برای آبشویی کلسیم و دیگر کاتیون‌های فلزی موجود باشد، واکنش تمایل دارد که به سمت راست رفته و خاک تمایل دارد که بیشتر اسیدی شود. در مناطق کم‌باران کلسیم و دیگر نمک‌ها فراوانند، زیرا به آسانی از خاک آب‌شویی نخواهند شد. یون‌های فلزی واکنش را به سمت چپ کشانده و pH خاک را در ۷ یا بالاتر نگاه می‌دارند. به علاوه مقداری از کلسیم به صورت CaCO_3 به خصوص در خاک تحت‌الارضی در مرز پایین نفوذ باران رسوب خواهد کرد. اثرات متقابل اقلیم، فرایندهای زیستی و تبادل کاتیونی در تعیین خصوصیات شیمیایی خاک‌ها به‌ما کمک می‌کنند.

تأثیر آهک و کودهای شیمیایی

واکنش‌های تبادل یونی قابل برگشت می‌باشند. اگر مقداری ترکیب بازی کلسیم مانند آهک به یک خاک اسیدی اضافه شود، واکنش قبلی به سمت چپ بر خواهد گشت. یون‌های کلسیم جایگزین هیدروژن و دیگر کاتیون‌ها خواهند شد. یون‌های H^+ محلول به وسیله OH^- و یا CO_3^{2-} خنثی خواهند شد و pH خاک بالا خواهد رفت. از طرف دیگر، اگر مواد شیمیایی تولیدکننده اسید مانند گوگرد به یک خاک قلیایی در منطقه خشک اضافه شود یون‌های H^+ جایگزین کاتیون‌های فلزی بر روی کلویید خاک شده و pH کاهش خواهد یافت.

تشریح هرچه بیشتر تبادل کاتیونی، شرح واکنشی است که در هنگام مصرف کودهای شیمیایی حامل کلرور پتاسیم در خاک رخ می‌دهد.



پتاسیم اضافه شده جذب سطح کلویید شده و مقدار متعادل از کلسیم، هیدروژن و سایر کاتیون‌ها را که در محلول خاک دیده می‌شود از کلویید خارج می‌سازد. پتاسیم جذب شده عمدتاً در شرایط قابل استفاده باقی می‌ماند. اما کمتر از اکثر نمک‌ها در کودهای شیمیایی در معرض آبشویی قرار می‌گیرد. بنابراین، تبادل کاتیونی نه تنها برای مواد غذایی که قبلاً در خاک بوده‌اند بلکه برای مواد غذایی به کار رفته در کود دامی، پس‌مانده‌های گیاهی و یا کود شیمیایی مساله‌ای قابل ملاحظه‌ای می‌باشد.

۸-۱۲ ظرفیت تبادل کاتیونی CEC^۱

بخش‌های قبل به‌طور کیفی با مسأله تبادل ارتباط داشته است. حال به ملاحظه کمی تبادل کاتیونی و یا ظرفیت تبادل کاتیونی CEC بر می‌گردیم. این خصوصیت، که به‌طور ساده به صورت «جمع کلی کاتیون‌های قابل اندازه‌گیری که یک خاک می‌تواند جذب کند» تعریف می‌شود به آسانی قابل تعیین است. در روش استاندارد تمام کاتیون‌های جذب شده یک خاک به وسیله یک یون معمول مانند باریم، پتاسیم و یا آمونیوم جایگزین شده، سپس مقدار باریم، پتاسیم و یا آمونیوم جذب شده اندازه‌گیری می‌شود (شکل ۸-۱۵).

روش‌های بیان^۲ CEC

ظرفیت تبادل کاتیونی برحسب مقدار مول بارهای مثبت جذب شده در واحد جرم تعریف می‌شود. برای سهولت بیان CEC، از سانتی‌مول بار مثبت در یک کیلوگرم خاک (Cmol/Kg) استفاده می‌کنیم. بنابراین اگر یک خاک دارای ظرفیت تبادل کاتیونی ۱۰ سانتی‌مول باشد، یک کیلوگرم از این خاک می‌تواند ۱۰ سانتی‌مول از H^+ جذب نموده و می‌تواند آن را با ۱۰ سانتی‌مول از کاتیون یک ظرفیتی دیگر مانند Na^+ و K^+ و یا ۵ سانتی‌مول از کاتیون دو ظرفیتی مانند Ca^{2+} و یا Mg^{2+} مبادله کند. در هر حالت ۱۰ سانتی‌مول بار منفی همراه با ۱ کیلوگرم خاک ۱۰ سانتی‌مول از بار مثبت را چه از H^+ ، K^+ ، Na^+ ، NH_4^+ ، Ca^{2+} ، Mg^{2+} ، Al^{3+} و یا هر کاتیون دیگری جذب می‌کند.

ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌ها

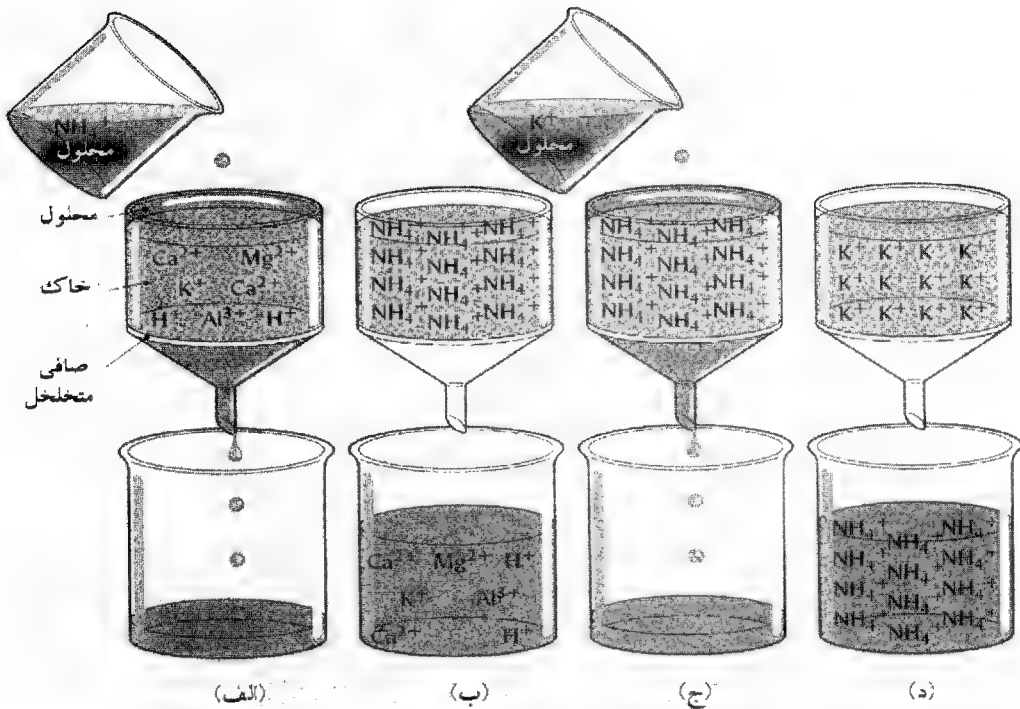
ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) در یک خاک مورد نظر به وسیله مقدار نسبی کلوییدهای مختلف در آن خاک و مقدار CEC هر کدام از آن‌ها تعیین می‌شود. شکل ۸-۱۶ دامنه‌ی معمول CEC را در بین خاک‌های مختلف و دیگر مواد آلی و معدنی تبادل‌کننده تشریح می‌کند.

^۱- Cation Exchange Capacity

^۲ - قبلاً CEC اغلب بر حسب میلی‌والانس گرم در ۱۰۰ گرم خاک بیان می‌شد. در این کتاب در سیستم SI بر حسب سانتی‌مول بار مثبت در کیلوگرم خاک بیان می‌شود.

خوشبختانه دو واحد مساوی بوده و مقایسه اطلاعات خاک‌هایی که از این دو نظام استفاده کرده است آسان می‌باشد.

توجه کنید که خاک‌های شنی که معمولاً از نظر کل مواد کلوییدی فقیرند، درمقایسه با خاک‌های لوم سیلتی و لوم رسی دارای CEC کمتری می‌باشند. همچنین به CEC کلویید هموس در مقایسه با رس‌های معدنی به‌ویژه کائولینیت و اکسیدهای آهن و آلومینیوم توجه کنید: CEC حاصل از هموس نقشی بارز و بعضی مواقع غالب در واکنش‌های تبادل کاتیونی در خاک ایفا می‌کند. برای نمونه در یک التی‌سول رسی (pH مساوی ۵/۵) که دارای ۲/۵ درصد هموس و ۳۰ درصد کائولینیت می‌باشد حدود ۷۵ درصد CEC ناشی از هموس است، حتی در خاک‌های خیلی اسیدی التی‌سول که بار وابسته به pH بر روی هموس و کائولینیت نسبتاً پایین است، هموس در همتافت تبادل کاتیونی غالب می‌باشد، و بدین‌صورت اهمیت حیاتی ماده‌ی آلی در خاک قابل تشریح است.



شکل ۸-۱۵ تشریح روشی برای تعیین ظرفیت تبادل کاتیونی در خاک‌ها. (الف) یک نمونه از خاک که دارای کاتیون‌های قابل تبادل متعددی است به‌وسیله‌ی محلول نمک آمونیوم (NH₄⁺) آیشویی می‌شود. (ب) یون‌های NH₄⁺ جایگزین کاتیون‌های دیگر جذب شده گردیده و آن‌ها به‌داخل ظرف زیر خود آیشویی می‌شوند (ج) اضافی یون‌های NH₄⁺ در محلول به‌وسیله‌ی حلال‌های آلی مانند الکل حذف گردیده و محلول یک نمک K⁺ برای جایگزینی و آیشویی یون‌های NH₄⁺ کلویید به‌کار برده می‌شود. (د) مقدار آزاد شده و آیشویی یافته به‌داخل ظرف پایینی می‌تواند معلوم گردد و آن معادل (هم والانس) شیمیایی ظرفیت تبادل کاتیونی (بار منفی بر روی کلویید) می‌باشد.

با استفاده از دامنه CEC در شکل ۸-۱۶ امکان برآورد CEC یک خاک با دانستن مقدار کلویدهای مختلف آن خاک امکان‌پذیر می‌باشد. تابلو ۲-۸ چگونگی انجام این برآورد را نشان می‌دهد.

اطلاعات جدول ۷-۸ مقادیر CEC متوسط برای ۹ رسته‌ی مختلف خاک را که به‌وسیله‌ی سرویس حفاظت خاک آمریکا تعیین شده است مشخص می‌سازد، توجه داشته باشید که CEC زیاد خاک‌های هیستوسول بیانگر CEC بالای کلویدهای آلی است. ورتی‌سول‌ها که دارای رس‌های انبساط‌پذیر زیاد می‌باشند (عمدتاً اسمکتیت‌ها) دارای بالاترین CEC متوسط در بین خاک‌های معدنی هستند. در مرحله‌ی بعدی خاک‌های اریدی‌سول و مولی‌سول قرار دارند که معمولاً مقدار رس‌های ۱:۲ در آن‌ها زیاد است. التی‌سول‌ها که رس آن‌ها عمدتاً کائولینیت و اکسیدهای آهن و آلومینیوم است دارای CEC نسبتاً پایینی می‌باشند. انتی‌سول‌ها و انستیتی‌سول‌ها شامل خاک‌های تکامل‌یافته بر روی آبرفت‌های جدید و مواد دریاچه‌ای بوده که از رس زیادی برخوردارند. به‌رغم تغییرات زیاد در مقدار مواد آلی و بافت این خاک‌ها این اطلاعات بیانگر مقدار و نوع کلویدهای موجود در خاک می‌باشد.

تابلو ۸-۱ بیان شیمیایی تبادل کاتیونی

یک مول از هر اتم، مولکول و یا بار به صورت 6.02×10^{23} (عدد آوگادرو) اتم، مولکول و یا بار بیان می‌شود. بنابراین 6.02×10^{23} بار منفی با هم‌تافت کلوییدی خاک یک مول از بار مثبت را از کاتیون‌های مانند Ca^{2+} , Mg^{2+} , H^+ جذب می‌کند. تعداد مول‌های بار مثبت که به وسیله کاتیون‌های جذب شده در هر خاک عرضه می‌شود معیاری از ظرفیت تبادل کاتیونی آن خاک (CEC) می‌باشد. CEC خاک‌ها معمولاً از ۰/۰۳ تا ۰/۵ مول بار مثبت در هر کیلوگرم، متفاوتست، و برحسب سانتی مول در کیلوگرم CEC خاک‌ها در دامنه ۳ تا ۵۰ می‌باشد.

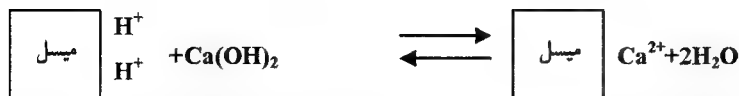
محاسبه‌ی جرم از مول: با استفاده از مفهوم مول می‌توان به آسانی تعداد مول بار را با جرمین‌ها و یا ترکیبات موجود در تبادل آنیونی ارتباط داد برای مثال فرض کنید که تبادل با جایگزینی یون‌های سدیم جذب شده در خاک‌های قلیایی منطقه‌ی خشک با هیدروژن به صورت زیر صورت گرفته باشد.



اگر ۲ سانتی مول از یون‌های جذب شده Na^+ در هر کیلوگرم خاک با H^+ در این واکنش جایگزین شده باشد چند گرم Na^+ جایگزین شده است از آن‌جاکه سدیم دارای یک بار مثبت است، جرم Na^+ برای ایجاد ۱ مول بار وزن اتمی سدیم بر حسب گرم یا ۲۳ می‌باشد. جرم ایجادکننده ۱ سانتی مول بار ۱/۰۰ این مقدار یا ۰/۲۳ گرم سدیم است بنابراین ۲ سانتی مول سدیم جایگزین شده از ۱ کیلوگرم خاک عبارتست از

$$\frac{2 \text{ سانتی مول سدیم}}{\text{کیلوگرم خاک}} \times \frac{\text{گرم } \text{Na}^+ 0.23}{\text{سانتی مول}} = \frac{\text{گرم } 0.46 \text{Na}^+}{\text{کیلوگرم خاک}}$$

۰/۴۶ گرم سدیم به وسیله ۰/۰۲ گرم هیدروژن که ۲ سانتی مول از این عنصر بسیار سبک‌تر است، جایگزین می‌شود. مثال دیگر، جایگزینی یون H^+ هنگام اضافه کردن آهک Ca(OH)_2 به خاک‌های اسیدی است. فرض کنید ۴ سانتی مول H^+ در هر کیلوگرم خاک به وسیله Ca(OH)_2 طبق رابطه زیر جایگزین شده باشد



از آن‌جاکه یون Ca^{2+} در هر مولکول Ca(OH)_2 دارای دو بار مثبت است جرم Ca(OH)_2 برای جایگزینی ۱ مول از یون H^+ نصف جرم مولکولی این ترکیب بر حسب گرم ۳۷ گرم می‌باشد و یک سانتی مول از آن ۰/۳۷ گرم می‌باشد جرم Ca(OH)_2 برای جایگزینی ۴ سانتی مول H^+ در کیلوگرم عبارتست از

$$\frac{4 \text{ سانتی مول آهک}}{\text{کیلوگرم خاک}} \times \frac{\text{گرم } 0.37}{\text{سانتی مول آهک}} = \frac{\text{گرم } 1.48 \text{ آهک}}{\text{کیلوگرم خاک}}$$

این مقدار آهک در سطح یک هکتار با عمق ۱۵ سانتیمتر عبارتست از:

$$\text{گرم } 2.96 \times 10^6 = 1.48 \times 2 \times 10^6 \text{ یا } 2.96 \text{ تن می‌باشد}$$

بار و هم‌والانسی شیمیایی: در هر یک از مثال‌های قبل تعداد بارهای ارائه شده به وسیله یون جایگزین‌کننده هم‌والانس با بار جایگزین شونده است. بنابراین، یک مول بار منفی یک بار مثبت را چه از H^+ , K^+ , Na^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} و یا هر کاتیون دیگر جذب می‌کند در خاطر داشته باشید که فقط نصف وزن اتمی یک کاتیون دو ظرفیتی مانند Ca^{2+} و Mg^{2+} و ۱/۳ وزن اتمی کاتیون سه ظرفیتی Al^{3+} برای یک مول بار لازم می‌باشد. این هم‌والانسی شیمیایی هم برای تبادل کاتیونی و هم آنیونی کاربرد دارد.

جدول ۷-۸ مقدار تبادل کاتیونی متوسط (CEC) و مقدار pH در بیشتر از سه هزار خاک که ۹ رسته‌ی مختلف خاک را معرفی می‌کند. به CEC خیلی بالا در هیستوسول‌ها و در میان خاک‌های معدنی به ورته‌سول‌ها توجه کنید. اتی‌سول‌ها دارای کمترین CEC می‌باشند. pH متوسط پایین اسپدوسول‌ها و pH بالای اریدی‌سول‌ها و اتی‌سول‌ها (که بسیاری از آن‌ها در مناطق دارای بارندگی اندک، قرار دارند) قابل توجه می‌باشند.

رده خاک	اتی‌سول	آلفی‌سول	اسپدوسول	مولی‌سول	ورته‌سول	اریدی‌سول	انسپتی‌سول	اتی‌سول	هیستوسول
CEC Cmol/Kg	۳/۵	۹/۰	۹/۳	۱۸/۷	۳۵/۶	۱۵/۲	۱۴/۶	۱۱/۶	۱۲۸
pH	۵/۶	۶/۰	۴/۹۳	۶/۵۱	۶/۷۲	۷/۲۶	۶/۰۸	۷/۳۲	۵/۵

pH و ظرفیت تبادل کاتیونی

در فصل قبل اشاره گردید که CEC اکثر خاک‌ها با فزونی pH افزایش می‌یابد. در مقادیر pH خیلی پایین CEC معمولاً پایین است (شکل ۱۷-۸). تحت این شرایط فقط بار دائمی رس‌های نوع ۲:۱ (فصل ۸-۸ را مشاهده کنید) و بخش کوچکی از بار وابسته به pH کلویدهای آلی و آلوфан و بعضی رس‌های نوع ۱:۱، کاتیون‌های قابل تبادل را نگاهداری می‌کنند. با افزایش pH بار منفی بر روی بعضی از رس‌های سیلیکاتی نوع ۱:۱، آلوфан، هموس و حتی اکسیدهای Fe و Al افزایش می‌یابد. بنابراین سبب افزایش CEC می‌شود. برای تعیین مقدار حداکثر این ظرفیت نگهداری، CEC معمولاً در pH ۷ و یا بالاتر تعیین می‌شود. در pH خشی و یا اندکی قلیایی، CEC بیانگر اکثر بارهای وابسته و همین‌طور بارهای ثابت است.

نابلو ۲-۸ برآورد تبادل کاتیونی

فرض کنید شما می‌خواهید ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌های سطحی دو منطقه به‌شرح زیر برآورد کنید

۱- یک خاک مولی‌سول کشت شده در ایالت ایوا (با pH ۷، ۲۰ درصد رس و ۴ درصد ماده‌ی آلی)

۲- یک خاک اکسی‌سول از جنگل‌های بکر در حوزه آمازون در برزیل (با pH ۴، ۶۰ درصد رس و ۴ درصد ماده‌ی آلی)

مولی‌سول: غالب‌ترین رس‌ها در مولی‌سول احتمالاً نوع ۲:۱ باشد و CEC متوسط آن‌ها حدود ۸۰ سانتی‌مول در کیلوگرم خاک است در pH ۷. CEC ماده‌ی آلی حدود ۲۰۰ سانتی‌مول در کیلوگرم است (جدول ۶-۸ را مشاهده کنید). از آن‌جاکه ۱ کیلو از خاک دارای ۰/۲ کیلو رس (۲۰ درصد خاک) و ۰/۴ کیلو ماده‌ی آلی (۴ درصد خاک) می‌باشد، می‌توانیم CEC خاک را با رابطه زیر تعیین کنیم

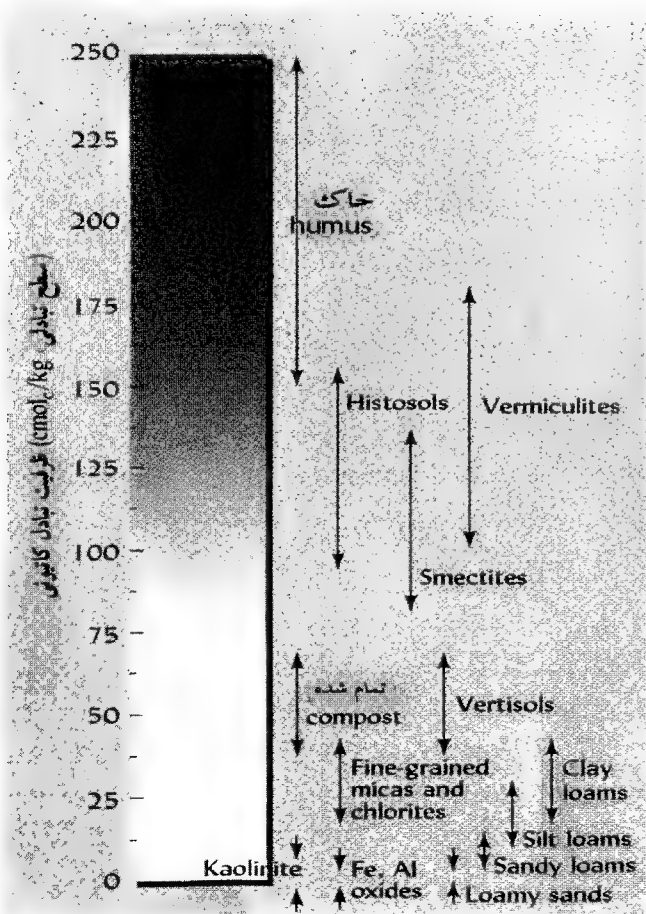
$$\frac{\text{سانتی‌مول}}{\text{کلو خاک}} = \frac{200 \text{ سانتی‌مول}}{\text{Kg ماده‌ی آلی}} \times \frac{0.4 \text{ Kg}}{\text{Kg خاک}} + \frac{80 \text{ سانتی‌مول}}{\text{Kg رس}} \times \frac{0.2 \text{ Kg}}{\text{Kg خاک}} = 16 + 8 = 24$$

اکسی‌سول: CEC رس‌های اصلی اکسی‌سول‌ها (احتمالاً کانولینیت و اکسیدهای آهن و آلومینیوم) پایین است و احتمالاً بیشتر از ۳ سانتی‌مول در کیلوگرم نیست. CEC ماده‌ی آلی در این خاک‌های خیلی اسیدی (pH=۴) نسبتاً پایین است و احتمالاً بیشتر از ۱۰۰ سانتی‌مول در کیلوگرم نباشد (شکل ۱۷-۸ را مشاهده کنید). CEC همراه با ۰/۶ کیلوگرم از این رس (۶۰ درصد خاک) و ۰/۴ کیلو از ماده‌ی آلی (۴ درصد خاک) مطابق زیر بدست می‌آید.

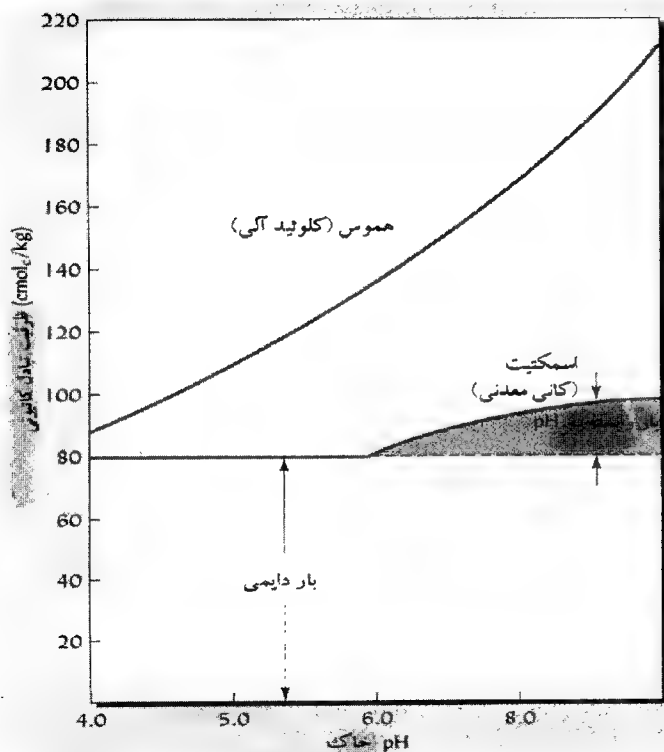
$$\frac{\text{سانتی‌مول}}{\text{کلو خاک}} = \frac{100 \text{ سانتی‌مول}}{\text{Kg ماده‌ی آلی}} \times \frac{0.4 \text{ Kg}}{\text{Kg خاک}} + \frac{3 \text{ سانتی‌مول}}{\text{Kg رس}} \times \frac{0.6 \text{ Kg}}{\text{Kg خاک}} = 1/8 + 4/8 = 5/8$$

تفاوت بسیار زیاد در ظرفیت تبادل کاتیونی در بین این دو خاک بیانگر اختلاف توانایی آن‌ها در عرضه‌ی عناصر غذایی است. باقی گذاشتن پوشش طبیعی (جنگل) در منطقه‌ی برزیل احتمالاً پایدارترین استفاده از خاک‌های اکسی‌سول است، درحالی‌که مولی‌سول‌ها می‌توانند به‌طور پایدار به کشت محصولات زراعی اختصاص یابند.

نوع کانی رس را می‌توان با برعکس نمودن مراحل فوق‌الذکر وقتی CEC خاکی معلوم بوده اما نوع رس نامعلوم است برآورد نمود.



شکل ۱۶-۸ دامنه‌ی تغییرات در ظرفیت تبادل کاتیونی (در pH مساوی ۷) که شاخص انواع خاک‌ها و مواد خاکی است. CEC بالای هموس مشخص می‌سازد که چرا این کلویید نقش بارزی را در اکثر خاک‌ها و به‌خصوص در خاکهایی که دارای رس‌های کائولینیت و اکسیدهای آهن و آلومینیوم با CEC پایین است ایفا می‌کند.



شکل ۱۷-۸ تأثیر pH بر روی CEC اسمکتیت و هموس. در زیر pH ۶، بار کاتیونی‌های رسی نسبتاً ثابت است، این بار دایمی به حساب آمده و ناشی از جانشینی یونی در واحد بلور می‌باشد. بالاتر از pH ۶، بار روی کلویدهای معدنی به دلیل یونیزاسیون هیدروژن از گروه‌های هیدراکسیل ظاهر شده در لبه بلورها، اندکی افزایش می‌یابد. برعکس رس، اساساً تمام بار روی کلویدهای آلی وابسته به pH به حساب می‌آید.

۱۳-۸ کاتیون‌های قابل تبادل در خاک‌های مزارع

کاتیون‌های قابل تبادل خاص همراه با کلوییدهای خاک از یک منطقه اقلیمی با منطقه دیگر متفاوت است. Ca^{2+} ، H^+ و Al^{3+} یون‌های همتافت هیدراکسید آلومینیوم در مناطق مرطوب غالب‌ترین یون‌ها می‌باشند، یون‌های Ca^{2+} ، Mg^{2+} و Na^+ در مناطقی با بارندگی اندک غالب می‌باشند (جدول ۸-۸). کاتیون‌های غالب در همتافت تبادل تأثیر فراوانی در خصوصیات خاک دارند.

در هر خاک، درصد هر کاتیون در ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به درصد اشباع آن کاتیون مشهود است. بنابراین اگر ۵۰ درصد CEC از کاتیون Ca^{2+} تشکیل شده باشد، درصد اشباع کلسیم در همتافت تبادل ۵۰ درصد می‌باشد.

این واژه به‌ویژه در تعیین میزان نسی منابع اسیدیته و قلیائیت در محلول خاک مفید است. بنابراین، درصد اشباع به‌وسیله یون‌های H^+ و Al^{3+} بیانگر شرایط اسیدی بوده درحالی‌که افزایش درصد کاتیون‌های غیراسیدی (معمولاً به آن درصد اشباع بازی گفته می‌شود)^۱ نشان‌دهنده تمایل خاک به‌سوی خنثی شدن و یا قلیائیت می‌باشد. درصد اشباع بازی خصوصیت مهم خاک است، به‌خصوص چون با اسیدیته خاک به‌طور عکس در ارتباط می‌باشد. این روابط در فصل ۹ بیشتر مورد تشریح قرار خواهد گرفت.

درصد اشباع عناصر غذایی اصلی مانند کلسیم و پتاسیم در جذب آن‌ها به‌وسیله گیاهان در حال رشد بسیار مؤثر است. این مسئله همراه با تعامل تبادل کاتیونی و تغذیه گیاهی اول مورد توجه قرار خواهد گرفت.

۱۴-۸ تبادل کاتیونی و عناصر غذایی قابل استفاده

کاتیون‌های قابل تبادل معمولاً برای زیواچه‌های خاک و گیاهان عالی قابل استفاده می‌باشند طی تبادل کاتیونی، یون‌های هیدروژن ریشه‌ی گیاهان و زیواچه‌های خاک کاتیون‌های غذایی را از همتافت تبادل جایگزین می‌کنند کاتیون‌های غذایی به‌داخل محلول خاک رانده شده و در آن‌جا، یا به‌وسیله سطوح جذبی ریشه‌ها و موجودات خاک جذب و هضم گردیده، و یا به‌وسیله زهاب خارج می‌شوند. واکنش‌های تبادل کاتیونی که در تحرک آلاینده‌های آلی و معدنی در خاک‌ها مؤثرند در بخش ۱۶-۸ مورد بحث قرار خواهند گرفت. در این بخش توجه خود را به جنبه‌های تغذیه گیاهی معطوف می‌داریم.

جدول ۸-۸ اطلاعات مربوط به تبادل کاتیونی در خاک‌های معدنی سطحی نمونه در مناطق مختلف

خصوصیات	خاک‌های مناطق گرم و مرطوب (آلی سول)	خاک‌های مناطق خنک و مرطوب (آلی سول)	خاک‌های مناطق نیمه‌خشک (استول)	خاک‌های مناطق خشک (ناتراجید)*
کلسیم قابل تبادل (سانتی‌مول در کیلوگرم)	۲-۵	۶-۹	۱۴-۱۷	۱۲-۱۴
بازهای قابل تبادل دیگر (سانتی‌مول در کیلوگرم)	۱-۲	۲-۳	۵-۷	۸-۱۲
هیدروژن و آلومینیوم قابل تبادل (سانتی‌مول در کیلوگرم)	۳-۷	۴-۸	۰-۲	۰
ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی‌مول در کیلوگرم)	۳-۱۲	۱۲-۱۸	۲۰-۲۶	۲۰-۲۶
درصد اشباع بازی	۲۵	۵۰-۷۵	۹۰-۱۰۰	۱۰۰
pH احتمالی	۵-۵/۴	۵/۶-۶	۷	۸-۱۰

* Natrargids : خاک‌های مناطق خشک دارای افق نایریک (سدیمی) همراه با رس دارای ESP بالا

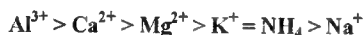
^۱ با بیان فنی، کاتیون‌های غیراسیدی مانند Ca^{2+} ، Mg^{2+} و K^+ باز نیستند. وقتی این کاتیون‌ها به‌جای H^+ جذب کلوییدها شوند، سبب کاهش اسیدیته و بالارفتن pH خاک خواهند شد. به این دلیل به آن‌ها باز گفته می‌شود و آن بخش از CEC که مربوط به آن‌هاست معمولاً درصد اشباع بازی اطلاق می‌گردد.

اشباع کاتیون و قابلیت استفاده‌ی عناصر غذایی

عوامل متعددی در تسریع و یا تأخیر آزاد شدن عناصر غذایی برای گیاهان دخیل هستند. اول، درصد اشباع همتافت تبادل به‌وسیله‌ی کاتیون غذایی مورد نظر می‌باشد. برای مثال، اگر درصد اشباع کلسیم یک خاک بالا باشد جابه‌جایی این کاتیون آسان و سریع است. بنابراین ۶ سانتی مول کلسیم قابل تبادل در یک خاک که ظرفیت تبادل آن ۸ سانتی مول در کیلوگرم باشد (۷۵٪ اشباع کلسیم)، احتمالاً به‌معنی قابلیت استفاده‌ی آسان می‌باشد. اما با همان ۶ سانتی مول در کیلوگرم اگر ظرفیت تبادل کاتیونی یک خاک ۳۰ سانتی مول در کیلوگرم باشد (۲۰٪ درصد اشباع کلسیم)، قابلیت استفاده پایین خواهد بود، و به این دلیل است که در گیاهان دوست‌دار کلسیم، مانند یونجه، اشباع کلسیم حداقل در بخشی از خاک باید به ۸۰ درصد رسیده و یا از آن فراتر رود.

اثرین‌های جذب شده‌ی مکمل

عامل دوم مؤثر در جذب کاتیون مورد نظر، یون‌های مکمل نگهداری شده بر روی کلویید است، همان‌طور که در بخش ۳-۸ بحث گردید، قدرت جذب کاتیون‌های مختلف بر روی اکثر کلویدها به‌ترتیب زیر است



در نتیجه یک کاتیون غذایی مانند K^{+} اگر یون‌های مکمل Al^{3+} و H^{+} (خاک‌های اسیدی) باشند، با قدرت کمتری بر روی کلویید نگهداری خواهد شد تا این که یون‌های مکمل Mg^{+} و Na^{+} (خاک‌های خنثی تا قلیایی) باشند. K^{+} به سستی نگهداری شده برای جذب به‌وسیله‌ی گیاهان به آسانی قابل استفاده بوده و در خاک‌های اسیدی مورد آبخوبی قرار می‌گیرند.

همچنین، ناهمسازی جذب^۱ در بعضی از خاک‌ها سبب محدودیت جذب بعضی از کاتیون‌ها به‌وسیله‌ی نباتات می‌شود. بنابراین، جذب پتاسیم به‌وسیله‌ی گیاهان در صورت وجود مقادیر بالای کلسیم محدود می‌شود. به‌همین ترتیب مقادیر بالای پتاسیم از نظر محدود نمودن جذب منیزیم، حتی با وجود مقادیر قابل توجه منیزیم در خاک، شناخته شده است.

اثر نوع کلویید

سومین عامل مؤثر، شدت نگهداری کاتیون خاص توسط انواع میسل‌های کلوییدی و سهولت تبادل کاتیون به‌وسیله‌ی این کلویدهاست. در یک درصد اشباع بازی خاص رس‌های اسمکتیت، که دارای تراکم بار بالایی در واحد سطح کلویید می‌باشند کلسیم را با قدرت بسیار بیشتری از کائولینیت (دارای تراکم بار کم) نگهداری می‌کنند در نتیجه رس‌های اسمکتیت باید قبلاً به حدود ۷۰ درصد اشباع برسند تا کلسیم به آسانی و با سرعت کافی برای جذب به‌وسیله‌ی اکثر گیاهان مبادله گردد. برعکس، یک رس کائولینیتی کلسیم را به آسانی بسیار بیشتری مبادله کرده و یک منبع رضایت‌بخش این عنصر در مقادیر بسیار کمتر درصد اشباع بازی می‌باشد. نیاز افزودن آهک به این دو خاک به‌خاطر این عامل تا حدی متفاوت است.

۸-۱۵ تبادل آنیونی

آنیون‌ها به دو طریق به‌وسیله‌ی کلویدهای خاک نگهداری می‌شوند. اول آن‌ها به‌وسیله‌ی سازوکار جذب آنیونی مشابه با جذب کاتیونی، نگهداری می‌شوند دوم آن‌ها عملاً با هیدراکسیدها و اکسیدهای سطحی وارد واکنش شده و ایجاد همتافت‌های فضای داخلی^۲ خلی می‌شخص می‌کنند. ابتدا جذب آنیونی را مورد ملاحظه قرار می‌دهیم.

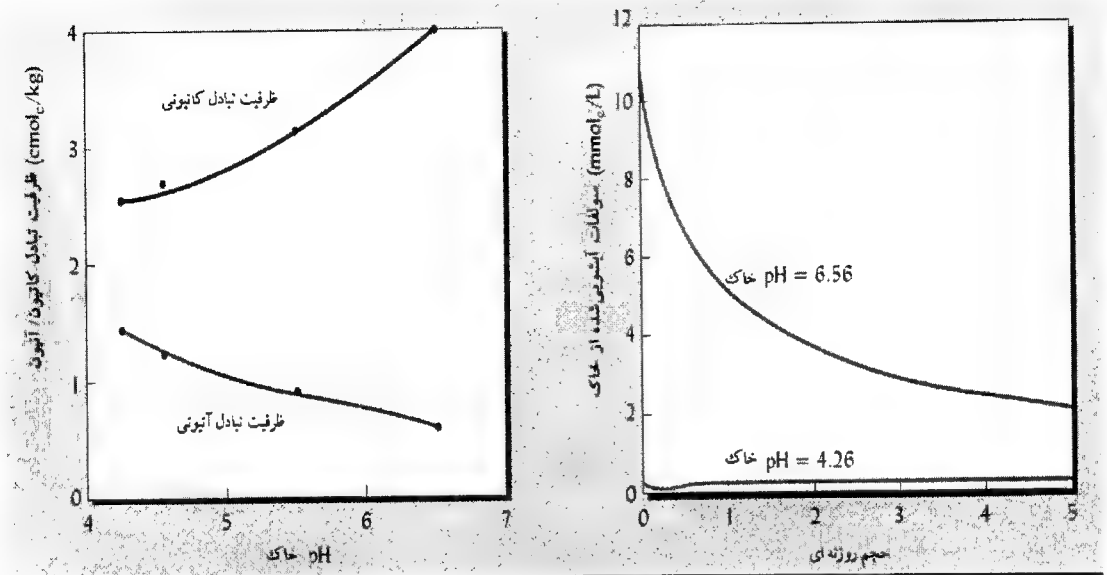
اصول اساسی تبادل آنیونی مشابه تبادل کاتیونی است، با این استثناء که بار بر روی کلویدها مثبت بوده و تبادل بین آنیون‌های دارای بار منفی انجام می‌گیرد. بار مثبت همراه با سطح کائولینیت، اکسیدهای آهن و آلومینیوم و آلوفا آنیون‌هایی مانند SO_4^{2-} و NO_3^{-} را جذب می‌کند، یک مثال ساده از واکنش تبادل آنیونی همانند زیر است :



^۱- Antagonism

^۲- Inter - Sphere complexes

درست همانند تبادل کاتیونی، مقادیر هم والانس نیترات و کلر مبادله می‌شوند، واکنش می‌تواند برعکس گردیده و عناصر آزادشده به‌وسیله کلویید خاک جذب شوند. برخلاف ظرفیت تبادل کاتیونی، ظرفیت تبادل آنیونی خاک‌ها معمولاً با افزایش pH کاهش می‌یابد. شکل ۱۸-۸ این واقعیت را در یک خاک التی‌سول در ایالت جورجیا تشریح می‌کند. در بعضی از خاک‌های خیلی اسیدی مناطق حاره‌ای که دارای کائولینیت و اکسیدهای آهن و آلومینیوم زیاد می‌باشند، ظرفیت تبادل آنیونی ممکن است از ظرفیت تبادل کاتیونی بیشتر شود.



شکل ۱۸-۸ (سمت چپ) اثر افزایش pH مواد تحت‌الارضی در یک خاک التی‌سول ایالت جورجیا بر روی ظرفیت تبادل کاتیونی و آنیونی. به کاهش قابل توجه ظرفیت تبادل آنیونی همراه با افزایش pH خاک توجه کنید. وقتی یک ستون از مواد دارای pH پایین (pH=۴/۲۶) با $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ مورد آبیویی قرار گرفت (سمت راست)، سولفات اندکی از خاک خارج شد. برعکس آبیویی مشابه خاکی که دارای بالاترین pH بود (pH=۷/۵۶) و در آن ظرفیت تبادل آنیونی به نصف کاهش یافته بود سبب تبادل آنیونی NO_3^- به جای SO_4^{2-} و آبیویی مقدار زیادی سولفات از داخل خاک گردید. در این شکل اهمیت جذب آنیونی در کند نمودن حرکت آنیون‌های خاص و یا سایر مواد دارای بار منفی تشریح شده است.

تبادل آنیونی در قابل استفاده ساختن آنیون‌ها برای رشد نبات، و همزمان با آن جلوگیری از آبیویی داخلی این آنیون‌ها در خاک بسیار مهم است. برای مثال تبادل آنیونی هدررفت سولفات را از خاک‌های تحت‌الارض جنوب آمریکا محدود می‌کند (شکل ۸-۸ و بخش ۲۲-۱۳ رامشاده کنید). حتی ممکن است آبیویی نیترات از تحت‌الارض خاک‌های خیلی هوازده گرمسیری به‌وسیله تبادل آنیونی محدود گردد. همین‌طور ممکن است حرکت رو به پایین بعضی از آلاینده‌های باردار موجود در ضایعات آلی به آب زیرزمینی با استفاده از این واکنش‌های تبادل کاتیونی و آنیونی محدود گردد.

همتافت‌های فضای داخلی

بعضی از آنیون‌ها مانند فسفات‌ها، ارسنات‌ها، مولبدان‌ها و سولفات‌ها می‌توانند با سطح کلویدها واکنش انجام داده و ایجاد همتافت‌های فضای داخلی کنند. برای نمونه H_2PO_4^- ممکن است به‌جای این که به‌صورت یک یون با سهولت تبادل آسان بر روی کلویید باقی بماند، با گروه هیدراکسیل پروتونی شده، وارد واکنش گردد.

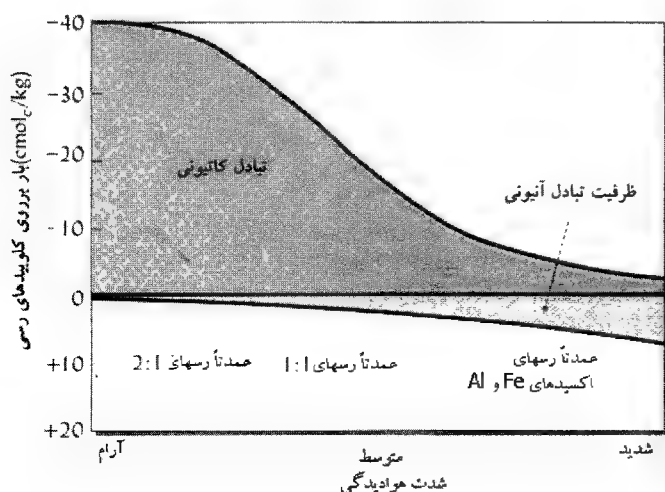


این واکنش سبب کاهش خالص بار مثبت کلویید خاک می‌شود. به‌علاوه H_2PO_4^- با شدت زیاد به‌وسیله مواد جامد خاک نگهداری شده و با سهولت قابل استفاده جذب گیاهان نمی‌باشد.

بهرغم این پیچیدگی ها تبادل آنیونی یک سازوکار مهم با اثرات متقابل در خاک ها و بین خاک ها و گیاهان می باشد. همراه با تبادل کاتیونی، تبادل آنیونی توانایی خاک ها را برای نگهداری عناصر غذایی برای دستیابی گیاهان مشخص می سازد.

هوادیدگی و میزان CEC و AEC

میزان CEC در کانی های مختلف رسی، که در شکل ۱۹-۸ نشان داده شده است. مشخص می سازد که رس های تکامل یافته در شرایط هوادیدگی ملایم (اسمکتیت و ورمی کولیت) دارای CEC بسیار بالاتری از خاک های تکامل یافته در شرایط هوادیدگی شدید می باشند. این شکل همچنین اثرات کلی افزایش شدت هوادیدگی را در مقدار بارهای منفی، که CEC را پی ریزی می کنند تشریح می کند. همان طور که در شکل پیدا است میزان AEC تمایل دارد در رس های تکامل یافته در شرایط هوادیدگی شدید (کانولینیت) بسیار بالاتر از رس هایی باشد که در شرایط ملایم تکامل یافته اند. این شکل کلی برای انجام تخمین اولیه ی مقدار CEC و AEC خاک ها در اقلیم مختلف کمک می کند. این شکل باید با احتیاط مورد استفاده قرار گیرد، زیرا بعضی از خاک های غنی از رس های ۲:۱ در مناطقی یافت می شوند که تحت تأثیر هوادیدگی شدید می باشند. سرشت مواد مادری و زمان اعمال هوادیدگی در نوع رس هایی موجود در روابط CEC/AEC مؤثر می باشد.



شکل ۱۹-۸ اثر شدت هوادیدگی بر بار کانی های رسی و در نتیجه بر ظرفیت تبادل کاتیونی و آنیونی آن ها (CEC و AEC). توجه کنید که CEC بالا و AEC پایین پیامد هوادیدگی ملایم بوده و سبب ایجاد رس های ۲:۱ مانند میکای بافت ریز، ورمی کولیت و اسمکتیت می شود. هوادیدگی شدیدتر سبب تخریب رس های ۲:۱ و تشکیل کانولینیت در ابتدا، سپس اکسیدهای آهن و آلومینیوم می گردد. این رس ها دارای ظرفیت تبادل کاتیونی بسیار کمتر و ظرفیت تبادل آنیونی بالاتر می باشد. چنین تغییرات در غالبیت رس، بیانگر منحنی های نشان داده شده می باشد.

۱۶-۸ جذب آفت کش ها و آلودگی آب زیرزمینی

کلویدهای خاک سبب مهار حرکت آفت کش ها و سایر ترکیبات آلی به داخل آب زیرزمینی می شوند. نگهداری این مواد شیمیایی به وسیله ی کلویدهای خاک از حرکت رو به پایین آن ها از داخل خاک ممانعت کرده، و یا چنان کند می کند که این ترکیبات به وسیله ی میکروب های خاک تجزیه گردند.

با قبول و یا آزاد کردن پروتون (H^+) به وسیله ی گروه های عامل مانند $-OH$ ، $-NH_2$ و $-COOH$ در ساختمان شیمیایی بعضی از ترکیبات آلی سبب ایجاد بارهای مثبت و یا منفی و تقویت تبادل آنیونی و یا کاتیونی می گردند. سایر ترکیبات آلی در واکنش های همتافت فضای داخلی و واکنش های جذب عناصر غذایی که آن را تشریح نمودیم شرکت می کنند. هرچند اکثر ترکیبات آلی معمولاً در داخل کلویدهای آلی خاک طی فرایندی که تفکیک کردن^۱ نام دارد جذب می شوند. کلویدهای آلی خاک همانند یک حلال برای مواد شیمیایی مصرف شده عمل می کنند؛ بنابراین، غلظت آن ها را در بین آن چه در روی کلویدهای خاک نگهداری شده و آن چه در محلول خاک باقی مانده تفکیک می کنند. این ترکیبات غیریونی مواد آلی آب گریز بوده و به وسیله ی آب دفع می شوند در نتیجه رس های مرطوب کمتر در فرایند تفکیک نقش داشته زیرا مولکول های آب جذب شده آن ها از حرکت مواد شیمیایی آلی غیریونی به داخل و یا اطراف رس ممانعت می کند^۲

^۱ - Partitioning

^۲ - کاتیون های آب دار شده مانند (کلسیم) که بر روی سطح اسمکتیت جذب شده اند می توانند با کاتیون های بزرگ آلی مبادله شده و سبب ایجاد آن چه رس های آلی نامیده می شود گردند، این رس های آلی برای جذب ترکیبات آلی مناسب بوده سبب جداسازی این ترکیبات به وسیله ی رس می شوند. از این پدیده برای جداسازی مواد آلاینده آلی به وسیله ی رس های آلی (اسمکتیت از پساب ها و آب های زیرزمینی آلوده شده استفاده می کنند.

از آنجاکه ما از نحوه دقیق چگونگی فرایندهای جذب، همتافت و تفکیک خیلی نمی‌دانیم، واژه عمومی جذب را برای تشریح نگهداری این ترکیبات آلی به‌وسیله خاک مورد استفاده قرار می‌دهیم.

ضرایب توزیع

تمایل یک آفت‌کش و یا ترکیبات آلی برای آبشویی به‌داخل آب‌های زیرزمینی به‌وسیله قابلیت انحلال ترکیب شیمیایی و یا نسبت مقدار ماده‌ی شیمیایی جذب‌شده به‌وسیله خاک به‌مقدار باقیمانده در محلول، تعیین می‌شود. این نسبت، ضریب توزیع خاک (K_d) نامیده می‌شود.

$$K_d = \frac{\text{میلی گرم ماده‌ی شیمیایی جذب‌شده در کیلوگرم خاک}}{\text{میلی گرم ماده شیمیایی باقیمانده در یک لیتر محلول}}$$

یک نسبت مشابه که معطوف به جذب به‌وسیله ماده‌ی آلی است، ضریب توزیع کرین آلی K_{oc} نامیده می‌شود.

$$K_{oc} = \frac{\text{میلی گرم ماده‌ی شیمیایی جذب‌شده در کیلوگرم کرین آلی}}{\text{میلی گرم ماده شیمیایی باقیمانده در یک لیتر محلول}}$$

جدول ۸-۹ ضرایب توزیع خاک و کرین آلی را در دو علف‌کش، و بعضی از ترکیبات فرعی یکی از آنها (آترازین) نشان می‌دهد. ضرایب توزیع بالاتر بیانگر پیوند هرچه بیشتر ماده‌ی شیمیایی با کلویدهای خاک و احتمال حضور کمتر آنها در آب زیرزمینی می‌باشد. هرچند اگر اهداف مدیریتی زدودن مواد شیمیایی آلی از خاک است، ضرایب کمتر مطلوب‌تر می‌باشد. این اطلاعات بر اهمیت قدرت جذب همتافت خاک و به‌خصوص هموس در مدیریت ترکیبات آلی افزوده شده به خاک تأکید دارد.

۸-۱۷ خصوصیات فیزیکی کلویدها

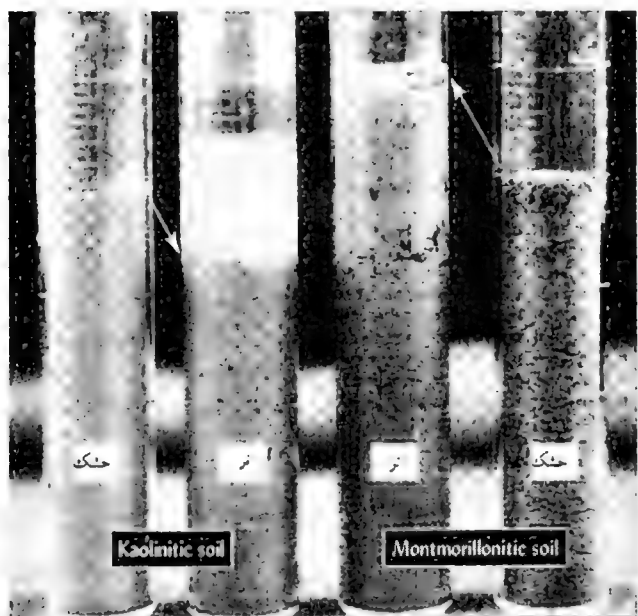
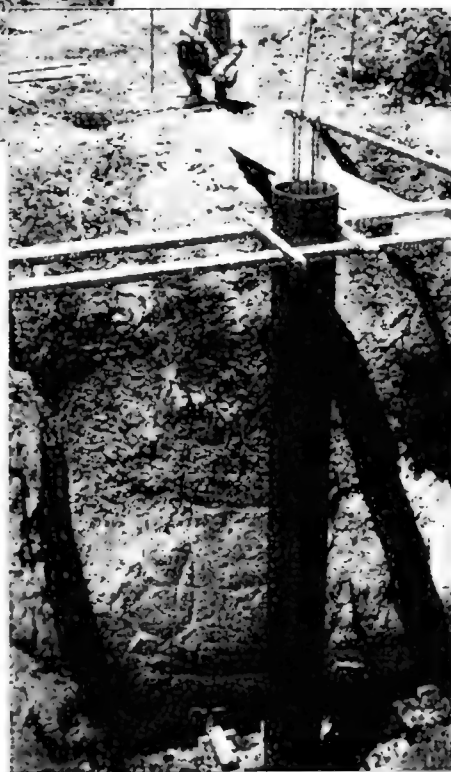
کلویدهای خاک از نظر خصوصیات فیزیکی خود بسیار متفاوت می‌باشند. این خصوصیات شامل شکل‌پذیری، چسبندگی، انبساط، انقباض، پراکنده‌شدن و همآوری می‌باشند. این خصوصیات در مفیدبودن خاک‌ها برای استفاده‌های کشاورزی و غیر کشاورزی تا حد زیادی مؤثر می‌باشند.

اثر کلویدها بر روی خصوصیات خاک‌ها در فصل ۴ مورد بحث قرار گرفت. اما برای آشنایی بیشتر با چهارچوب ساختمانی هر یک از آنها آسان‌تر این است که تأثیر این مواد را در زندگی خود درک کنیم. شکل ۸-۲۰ نمونه‌ای از اقداماتی را که باید در ساخت ابنیه برای غلبه بر اثرات منفی خصوصیات انبساط و انقباض کلویدهای خاک، اسمکتیت معمول داشت ارائه می‌دهد. خوشبختانه، در جاهای دیگر، سایر کلویدها بیشتر قابل استفاده بوده و پی‌سازی محکم منازل را ممکن می‌سازند. اگر اقدامات پیشگیرانه قبل از ایجاد خانه بر روی رس‌های اسمکتیت به‌عمل نیاید، صاحبان خانه‌ها احتمالاً خسارت سنگینی را در آینده باید پردازند. این فکشت مثالی از نقش حیاتی کلویدهای خاک است که در تعیین مفیدبودن آن ایفا می‌کنند.

۸-۱۸ استفاده‌های زیست‌محیطی از رس‌های قابل انبساط

خصوصیات فیزیکی شیمیایی رس‌های قابل انبساط و به‌خصوص اسمکتیت آنها را به مواد مفیدی برای جلوگیری از حرکت ناخواسته‌ی آب و آلودگی آن تبدیل کرده است، این رس‌ها به‌طور گسترده‌ای در ساختن پوشش‌ها برای عایق‌کاری استخرها، مخازن فاضلاب، مخازن ضایعات صنعتی و چاله‌های دفع زباله مورد استفاده قرار گرفته‌اند. یک لایه از رس اسمکتیت مصرف شده در کف و دیواره‌های استخرها و یا منابع آب. هنگام مرطوب‌شدن انبساط یافته و یک لایه غیرقابل نفوذ را در مقابل حرکت نه‌تنها آب بلکه مواد آلی و معدنی آلاینده موجود در آن، ایجاد می‌کند. این مواد آلاینده در محدوده غیرقابل نفوذ باقی مانده و از حرکت آنها به آب زیرزمینی ممانعت می‌شود.

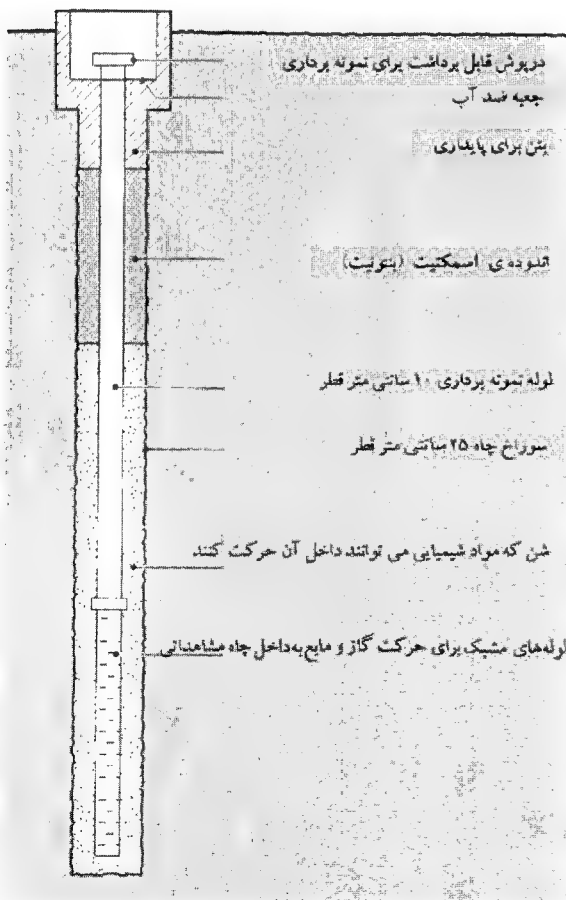
اسمکتیت برای جلوگیری از حرکت روبه‌بالای نامطلوب مواد شیمیایی آلی از داخل چاه‌های مشاهداتی برای نظارت آلاینده‌های آلی در آب زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرد. همان‌طور که در شکل ۸-۲۱ نشان داده شده است، اسمکتیت مرطوب (بنتونیت) یک لایه‌ی غیرقابل‌دخول را بین لوله نمونه‌برداری و دیواره عریض‌تر چاه تشکیل می‌دهد بنابراین از حرکت روبه‌بالای مواد شیمیایی از آب زیرزمینی ممانعت می‌کند. دانشمندان زیست محیطی از این رس‌های منبسط‌شونده به‌طور فزاینده‌ای برای نظارت و همچنین جداسازی مواد شیمیایی آلی از آب طی فرایند تفکیک استفاده می‌کنند.



شکل ۲۰-۸ تمایل متفاوت دو نوع رس به انبساط در پایین عکس. سمت چپ تشریح شده است. تمام چهار استوانه در ابتدا شامل خاک‌های خشک الک شده رس بودند. دو خاک سمت چپ از افق یک خاک غنی از کائولینیت بود و خاک سمت راست شامل خاک غنی از مونت‌موریلونیت بود. دو مقدار مساوی آب به دو استوانه مرکزی در وسط اضافه شدند خاک کائولینیته مقداری نشست کرد و قادر به جذب همه آب نبود، خاک مونت‌موریلونیت حدود ۲۵٪ حجم خود افزایش یافت و تقریباً تمام آب اضافه شده را جذب کرد. مناظر سمت راست و بالا نشان‌دهنده کاربرد عملی دانش موجود در باره خصوصیات رس است. (بالا) خاک‌های دارای مقادیر زیاد اسمکتیت دچار تغییرات قابل توجه حجم با انبساط و انقباض رس در اثر تر شدن و خشک شدن می‌گردند. این خاک‌ها (ورتی‌سول کالیفرنیا در اینجا نشان داده شده است) محل‌های بسیار نامناسبی از نظر ایجاد ساختمان تشکیل می‌دهند. منازل با ظاهر معمولی (بالا) در واقع بر روی پایه‌های بتون آرمه ساخته شده‌اند (پایین راست) که بر روی طبقه تحت‌الارض غیرمنبسط شونده قرار دارد. ایجاد ۱۵ تا ۲۵ عدد از این پایه‌ها که برای هر خانه لازم است هزینه ایجاد ساختمان را به دو برابر می‌رساند.

جدول ۸-۹ ضرایب تفکیک خاک و مواد آلی K_d و K_{oc} برای علف‌کش‌های دارای مصرف بسیار زیاد: ضرایب تفکیک برای خاک K_d و ماده‌ی آلی K_{oc} برای دو علف‌کش بسیار پرمصرف آترازین^۱ و متولاکلر^۲ و برای سه ترکیب فرعی آترازین مورد حمله میکروارگانیسم‌ها یعنی دی‌اتیل آترازین، دی‌ایزوپروپیل آترازین و هیدراکسی آترازین. از آن‌جا که مقادیر بالای K_{oc} و K_d بیانگر جذب شدید مواد شیمیایی به خاک است، تمایل دی‌اتیل آترازین برای آبشویی یافتن در این خاک التی‌سول در ایالت ویرجینیا در مقایسه با آترازین بالاست، اما هیدراکسی آترازین با نرخ کمتری در خاک در معرض آبشویی قرار می‌گیرد.

علف‌کش	K_d	K_{oc}
آترازین	۱/۸۲	۱۴۰
دی‌اتیل آترازین	۰/۹۹	۸۵
دی‌ایزوپروپیل آترازین	۱/۶۶	۱۲۸
هیدراکسی آترازین	۷/۹۲	۶۰۹
متولاکلر	۲/۴۷	۱۹۰



شکل ۸-۲۱ چگونگی استفاده از رس اسمکتیت (بتونیت) به عنوان مسدودکننده و یا عایق برای جلوگیری از نشت رو به بالا از داخل یک میله چاه حفاری شده جهت نظارت بر وجود مواد شیمیایی آلی در خاک‌ها. بتونیت خشک در محل جایگذاری شده و سپس مرطوب می‌شود. در هنگام مرطوب شدن رس انبساط یافته و در اطراف لوله نمونه‌برداری و دیواره میله چاه محکم می‌شود. اسمکتیت مرطوب در مقابل حرکت رو به بالای مواد آلی مقاومت کرده و آن‌ها را به داخل لوله مشبک نمونه‌برداری هدایت می‌کند که می‌تواند برای آزمون نمونه‌برداری گردند. این لایه همچنین از حرکت مواد شیمیایی از سطح خاک و بنابراین مورد اشتباه قرار گرفتن آن با آلودگی اب زیرزمینی جلوگیری می‌کند.

^۱ - Atrazine
^۲ - Metolachler

۸-۱۹ نتیجه‌گیری نهایی

مواد کلوییدی بیشترین خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک‌ها را مهار می‌کنند. این مواد شامل ۵ کلاس عمده از رس‌های سیلیکاتی، بلورین، هم‌چنین هیدراکسیدهای آهن و آلومینیوم، و سیلیکات‌های آلومینیوم‌دار بی‌شکل مانند آلوپان و هموس می‌باشند. به‌خاطر اندازه بسیار کوچک ذرات و ساختمان بشقاب‌مانند، این کلویدها دارای سطح مخصوص بسیار زیادی می‌باشند، که بیشتر آن را سطح داخلی تشکیل می‌دهد که بسیار شبیه صفحات یک کتاب است. سطح داخلی کل بعضی از این رس‌ها (برای مثال اسمکتیت) به‌مراتب بیشتر از سطح خارجی آن‌ها می‌باشد.

خصوصیات کانی‌شناسی و ساختمان شیمیایی این کلویدها سبب ایجاد بار الکتریکی ثابت بر روی و یا در نزدیکی سطح این ذرات کلوییدی می‌شود. بار منفی در روی اکثر رس‌های سیلیکاتی غالب می‌باشد. اما بار مثبت خاصه بعضی از کلویدها مانند هیدراکسیدهای Fe و Al به‌خصوص در pH پایین می‌باشد. بارهای موجود بر روی کلویدها به آن‌ها امکان می‌دهند که این‌ها و دیگر مواد با بار مخالف را جذب کنند. برای مثال کاتیون‌ها جذب محل‌های دارای بار منفی و آنیون‌ها جذب محل‌های دارای بار مثبت می‌شوند.

در محل دارای بار بر روی کلویدهای خاک تبادل بین یک یون و یا ماده و دیگر یون‌ها می‌تواند صورت گیرد. تبادل کاتیون‌ها و آنیون‌ها فرایندهای مهمی می‌باشد که گیاهان را قادر می‌سازد یون H^+ را برای یون‌های غذایی مانند Ca^{2+} و K^+ و یون OH^- را برای یون‌های SO_4^{2-} و NO_3^- مبادله کند. ظرفیت یک کلویید برای نگهداری کاتیون‌ها و تبادل آن‌ها ظرفیت تبادل کاتیونی و برای آنیون‌ها ظرفیت تبادل آنیونی نامیده می‌شود و آن معیاری از توانایی خاک برای عرضه‌ی عناصر غذایی به ریشه نبات و جلوگیری از حرکت رو به پایین آلاینده‌ها به‌داخل زهاب می‌باشد.

تبادل کاتیونی همانند فتوسنتز یک فرایند اساسی بقای حیات می‌باشد. بدون این خصوصیت بوم‌سامانان زمینی قادر به نگهداری عناصر غذایی برای حمایت پوشش طبیعی و یا پوشش معرفی شده به‌ویژه با وجود حوادث و فعالیت‌هایی مانند برداشت چوب، آتش‌سوزی و کشت و کار نمی‌باشد.

سوالات برای مطالعه

- ۱- همتافت کلوییدی خاک را تشریح کنید، اجزاء مختلف آنرا مشخص کرده و توضیح دهید که چگونه به‌عنوان بانکی برای عناصر غذایی عمل می‌کند.
- ۲- اختلاف در سطح مخصوص رس کائولینیت را با رس مونت‌موریلونیت (از اسمکتیت) مربوط به چه می‌دانید؟
- ۳- اختلاف در ساختمان بلوری کائولینیت، اسمکتیت، میکای ریز، ورمی‌کولیت و کلریت را مشخص کنید.
- ۴- دو فرایند اصلی وجود دارد که در طی آن‌ها رس‌های سیلیکاتی از هوا دیدگی کانی‌های اولیه ایجاد می‌شوند، کدام یک از این دو فرایند سبب تشکیل (۱) میکای دانه‌ریز (۲) کائولینیت از میکای مسکویت می‌شوند؟ توضیح دهید.
- ۵- اگر بخواهید رس کائولینیت را پیدا کنید کجا می‌روید؟ برای رس‌های (۱) اسمکتیت و (۲) ورمی‌کولیت نیز کجا می‌روید؟
- ۶- کدام یک از کانی‌های رس، دارای حداکثر و حداقل مطلوبیت هستند اگر کسی خواستار (۱) پی ساختمان‌ی خوب (۲) ظرفیت تبادل کاتیونی بالا (۳) منبع بسنده کانی پتاسیم (۴) خاکی باشد که کلوخه‌های سختی بعد از شخم‌زدن ایجاد کند؟
- ۷- در کدام یک از خاک‌های زیر شما انتظار دارید که حداکثر و حداقل چسبندگی و شکل‌پذیری پس از مرطوب شدن وجود داشته باشد: (۱) خاکی با اشباع قابل توجه سدیم در مناطق نیمه‌خشک (۲) خاکی با قابلیت تبادل زیاد در مناطق نیمه‌مرطوب معتدل (۳) خاک‌های اسیدی خوب هوازده در مناطق حاره‌ای؟ جواب خود را تشریح کنید.
- ۸- خاکی دارای ۴ درصد هموس، ۱۰ درصد مونت‌موریلونیت، ۱۰ درصد ورمی‌کولیت و ۱۰ درصد اکسیدهای آهن و آلومینیوم است ظرفیت تبادل کاتیونی آن تقریباً چقدر است؟
- ۹- میزان یون‌های آلومینیوم را برای جایگزینی ۱۰ سانتی‌مول Ca^{2+} در همتافت تبادل ۱ کیلوگرم خاک بر حسب گرم محاسبه کنید.
- ۱۰- اهمیت K_d و K_{oc} را در ارزیابی کارمایه (انرژی) آلایندگی زهاب توضیح دهید کدام یک از این ضرایب توزیع به‌نظر می‌رسد که خصوصیت پایدار ترکیبات آلی مورد نظر بدون توجه به نوع خاک موجود می‌باشد؟ توضیح دهید.

آنها چه کاری با باران کرده‌اند؟

پیترا، پل و ماری

درست مثل افزودن نمک به آش.

آسان‌تر این است که بعداً کمی دیگر به آن اضافه کنید

(آهک دادن خاک) تا این که برای بیرون آوردن اضافی

آن تلاش کنید.

دایره‌المعارف باغداری آلی

فصل ۹ واکنش خاک : اسیدیته و قلیائیت خاک

درجه اسیدی بودن و یا قلیائیت خاک (واکنش خاک) به عنوان عامل اصلی که تقریباً در تمام ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و زیستی خاک مؤثر است، در نظر گرفته می‌شود. این عامل که بر حسب pH بیان می‌گردد، قابلیت استفاده‌ی عناصر غذایی و واکنش‌های ریزجانداران را در خاک به مقدار زیاد تنظیم می‌کند و در تعیین نوع درخت، بوته و علف‌های غالب در هر چشم‌انداز در تحت شرایط طبیعی مؤثر می‌باشد. این عامل قطعاً در میزان رشد و به‌طور کلی در سبزشدن یک نبات زراعی در یک محل به‌خصوص تعیین‌کننده است. واکنش خاک همچنین سرنوشت بسیاری از آلاینده‌های خاک را تعیین کرده و در تجزیه و حرکت احتمالی آنها از خاک به‌داخل آب زیرزمینی و رودخانه‌ها مؤثر است.

pH خاک در تعیین تعداد و انواع موجودات خاک، که سبب تغییر پس‌مانده‌های گیاهی به ماده‌ی آلی پرارزش می‌گردند نقش دارد. بنابراین، در ثبات خاکدانه‌ها و همچنین حرکت آب‌وهوا به‌داخل خاک مؤثر است.

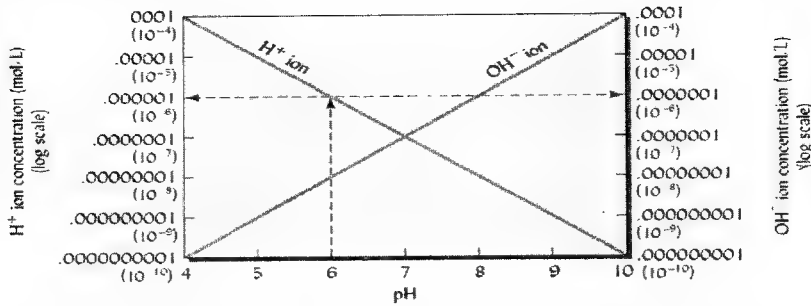
بسیاری از فعالیت‌های انسانی می‌تواند در واکنش خاک مؤثر باشد. برای مثال بعضی کودهای شیمیایی خاص و پس‌مانده‌های آلی در خاک برای تشکیل اسیدهای معدنی قوی مانند HNO_3 و H_2SO_4 وارد واکنش شده و این سبب افزایش اسیدیته خاک می‌گردد. این دو اسید نیز در باران‌های اسیدی وجود دارند که از گازهای منتشرشده در نیوار عمدتاً در اثر احتراق سوخت‌های فسیلی (نیروگاه‌ها و اتومبیل‌ها) و سوزاندن درخت‌ها و سایر توده‌های حیاتی سرچشمه می‌گیرند. نگرانی از زیان‌های حاصل از باران‌های اسیدی که ممکن است در خاک‌ها، محصولات و دریاچه‌های پایین‌دست به‌وجود آید در حال افزایش است.

اقلیم نیز تمایل دارد که اسیدیته و یا قلیائیت را در خاک‌ها تشدید کند، در مناطق مرطوب خاک‌ها تمایل دارند که کاملاً اسیدی شوند. اسیدیته به‌خاطر وجود بارندگی کافی برای خارج‌ساختن بسیاری از کاتیون‌های بازی (Na^+ و K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) و غالب‌شدن همتافت کلوییدی به‌وسیله‌ی یون‌های H^+ و Al^{3+} افزایش می‌یابد.

در مناطق با بارندگی اندک، عکس این مسأله صادق است، آبشویی کاتیون‌ها خیلی شدید نیست و کاتیون‌های بازی به‌جای یون‌های Al^{3+} و H^+ در همتافت تبادل غالب باقی مانده و سبب ایجاد شرایط خنثی و یا حتی قلیایی می‌شوند. ما در این فصل اسیدیته خاک را مورد تأکید بیشتر قرار داده و در فصل ۱۰ خاک‌های شور و سدیمی و مدیریت آنها را مطالعه خواهیم کرد.

قبل از این که ما منابع H^+ و OH^- را در طبیعت مورد ملاحظه قرار دهیم به‌طور اختصار مفهوم pH را در تابلو ۱-۹ مرور می‌کنیم زیرا سبب می‌شود روابط متقابل این دوین را در نظام آب درک کنیم. همچنین در شکل ۱-۹ به مقدار pH بعضی از مواد که روزانه مصرف می‌کنیم، توجه کنید. pH این مواد در تعارض با pH خاک‌های مختلف اسیدی و قلیایی می‌باشد که در این فصل و فصل‌های بعد از آنها صحبت خواهیم کرد.

تابلو ۹-۱ pH خاک، اسیدیته و قلیائیت خاک



اسیدی بودن، خنثی بودن و یا قلیایی بودن یک خاک به وسیله غلظت نسبی یون های H^+ و OH^- تعیین می شود. آب خالص دارای مقادیر مساوی از این یون ها می باشد



تبادل این واکنش به مقدار بسیار زیاد به سمت چپ می باشد. فقط یک مقدار بی نهایت کوچک H^+ و OH^- از یک مولکول آب تشکیل می شود. حاصل ضرب غلظت یون H^+ و OH^- ثابت است (K_w), که در ۲۵ درجه سانتیگراد 10^{-14} می باشد.

$$[H]^+ \times [OH]^- = K_w = 10^{-14}$$

از آنجاکه غلظت یون های هیدروژن $[H]^+$ در آب خالص باید مساوی غلظت یون های هیدراکسید $[OH]^-$ باشد، معادله ی فوق نشان می دهد که غلظت هر یک از آن ها 10^{-7} ($10^{-7} \times 10^{-7} = 10^{-14}$) بوده و رابطه ی عکسی بین غلظت این دو یون نیز موجود است، زیرا با اضافه شدن یکی، دیگری به نسبت کاهش می یابد. بنابراین اگر غلظت یون H^+ یعنی $[H]^+$ را ده برابر کنیم (از 10^{-7} به 10^{-6}) غلظت یون OH^- یعنی $[OH]^-$ ۱۰ برابر کاهش خواهد یافت (از 10^{-7} به 10^{-8}) به طوری که حاصل ضرب غلظت این دو یون باید مساوی 10^{-14} باشد:

$$10^{-6} \times 10^{-8} = 10^{-14}$$

دانشمندان روش بیان غلظت های اندک یون های H^+ و OH^- را با استفاده از لگاریتم منفی غلظت H^+ ساده نموده اند که به آن pH اطلاق می گردد. بنابراین اگر غلظت یون H^+ در یک محیط اسیدی 10^{-5} باشد pH آن محیط ۵ بوده و اگر غلظت H^+ در یک قلیایی 10^{-9} باشد pH آن محیط ۹ می باشد.

توجه کنید که pH همچنین به طور مستقیم تعیین کننده ی غلظت یون های OH^- می باشد زیرا حاصل ضرب $[H]^+ [OH]^-$ همیشه مساوی 10^{-14} است در pH ۵ غلظت یون های $[OH]^-$ 10^{-9} ($10^{-5} \times 10^{-9} = 10^{-14}$) و در pH ۸ غلظت $[OH]^-$ 10^{-6} ($10^{-8} \times 10^{-6} = 10^{-14}$) است. شکل بالا رابطه بین pH و غلظت یون های H^+ و OH^- را نشان می دهد. توجه کنید به محض این که غلظت یکی پایین می آید، غلظت دیگری بالا می رود و بالعکس. خط بریده شده بیانگر غلظت این دو یون در pH ۶ می باشد که در آن $[H]^+$ مساوی 10^{-6} و $[OH]^-$ مساوی 10^{-8} است. این روابط متقابل بین $[H]^+$ و $[OH]^-$ را در مطالعه اسیدیته و قلیائیت خاک باید همیشه در نظر داشته باشیم.

با بیان فنی، واکنش های شیمیایی تحت تأثیر فعالیت یون است، نه غلظت آن. و این به دلیل اثرات نیروی الکتریسته ثابت یک یون بر روی فعالیت یون های همجوار نزدیک است. فعالیت های فنی بنابراین اساساً غلظت های مؤثر می باشند، از آنجاکه قضاوت بین فعالیت های یونی و غلظت آن در خاک خیلی بزرگ نیست، در این کتاب از واژه غلظت استفاده می کنیم.

۹-۱ منابع یون های هیدروژن^۱ و هیدراکسید

دو کاتیون جذب شده - هیدروژن و آلومینیوم - عمدتاً مسؤول اسیدیته خاک می باشند. سازوکاری که این دو کاتیون به وسیله آن تأثیر خود را اعمال می کنند، در ارتباط با درجه اسیدیته و منبع و سرشت کلویدهای خاک می باشد.

^۱ - یون های هیدروژن در آب همیشه به صورت آبدار بوده و بیشتر به صورت یون هیدرونیوم H_3O^+ می باشند تا یون H^+ . هرچند برای سهولت در این کتاب یون H^+ غیرهیدراته را برای معرفی این یون مورد استفاده قرار می دهد.

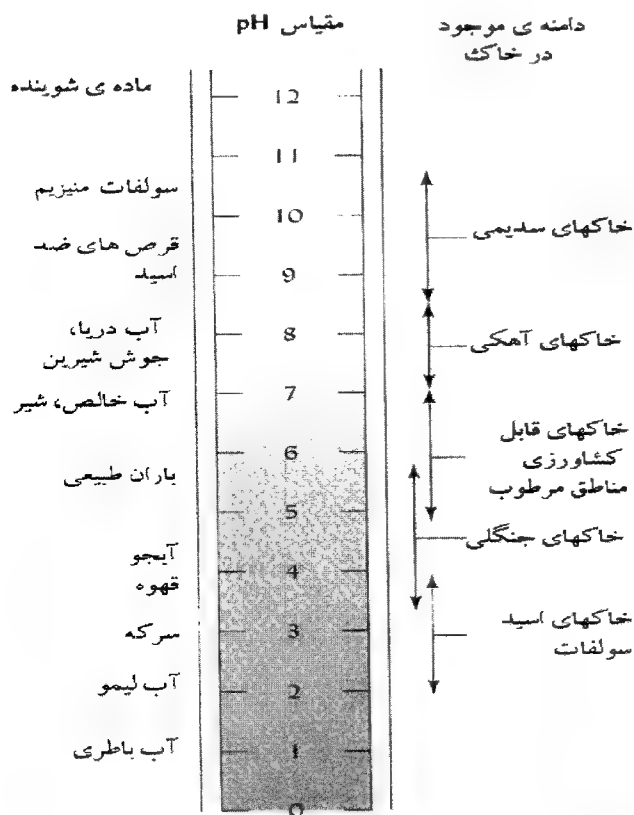
خاک‌های دارای اسیدیته‌ی شدید

در خاک‌های خیلی اسیدی (pH کمتر از 5) بیشتر آلومینیوم^۱ به‌صورت محلول درآمده (شکل ۲-۹)، که یا با ماده‌ی آلی موجود پیوند شدید پیدا کرده و یا به‌صورت کاتیون‌های آلومینیوم و یا هیدراکسید آلومینیوم وجود دارد. این یون‌های قابل‌تبادل در مقایسه با یون‌های دیگر بهتر جذب بارهای منفی کلویدهای خاک می‌شود.

آلومینیوم جذب شده با عرضه‌ی ین آلومینیوم به محلول خاک مسبب اسیدی شدن خاک می‌شود این ین‌های محلول آبکافت (هیدرولیز) شده و تولید ین H^+ می‌کنند.



این آبکافت سبب پایین آمدن pH محلول خاک و منبع عمده ی H^+ در اکثر خاک های اسیدی می باشد.



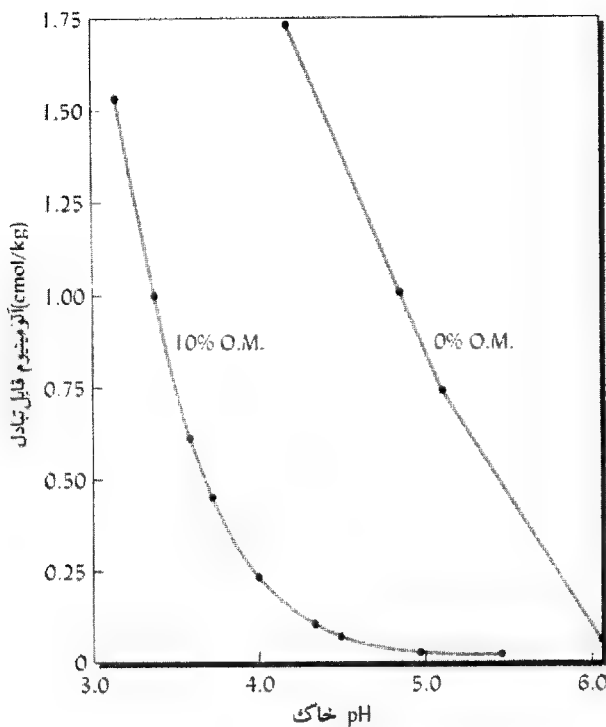
شکل ۹-۱ فهرستی که نشان‌دهنده‌ی حدود تغییرات pH از ۱ تا ۱۲ و pH تقریبی محصولات است که در جامعه هر روزه مصرف می‌شوند (چپ). pH‌های قابل مقایسه خاک‌ها که در این کتاب مطالعه خواهیم کرد در سمت راست نشان داده شده است.

بیشتر هیدروژن در خاک‌های خیلی اسیدی همراه با مقداری آهن و آلومینیوم با پیوندهای کووالانسی چنان به ماده‌ی آلی و لبه بلورهای رس محکم شده‌اند که فقط تا حد کمی در اسیدیته‌ی محلول خاک دخیل می‌باشد (فصل ۹-۸ را مشاهده کنید). فقط در گروه‌های خیلی اسیدی هموس و بعضی از محل‌های تبادل بار دایم رس‌ها H^+ به‌صورت قابل تبادل وجود دارند. این یون‌های اندک H^+ در تعادل با محلول خاک می‌باشند:



بنابراین می‌توان مشاهده کرد که اثر هر دو یون جذب‌شده‌ی هیدروژن و آلومینیوم افزایش غلظت H^+ در محلول خاک است.

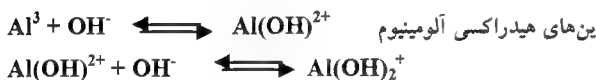
1- همچنین Fe^{3+} در شرایط اسیدی محلول گردیده و تشکیل کاتیون‌های هیدراته، درست مثل آلومینیوم می‌دهد هر چند چون آهن در شرایط خیلی اسیدی محلول می‌شود فقط حضور آلومینیوم مورد ملاحظه قرار خواهد گرفت.



شکل ۲-۹ اثر pH خاک بر آلومینیوم قابل تبادل در یک مخلوط خاک و شن (صفر درصد ماده‌ی آلی) و یک مخلوط خاک و پیت (۱۰ درصد ماده‌ی آلی)، ظاهراً ماده‌ی آلی سبب پیوند آلومینیوم در شکل غیرقابل تبادل می‌گردد. این اثرات متقابل ماده‌ی آلی و آلومینیوم دلیل رشد بهتر گیاهان در خاک‌های اسیدی دارای ماده‌ی آلی زیاد است.

خاک‌های دارای اسیدیته‌ی متوسط

ترکیبات آلومینیوم و هیدروژن همچنین علت وجود یون‌های H^+ محلول خاک در خاک‌های دارای اسیدیته‌ی متوسط (pH در بین ۵ و ۶/۵) اما با سازوکار دیگری می‌باشند. در این دامنه دیگر آلومینیوم به صورت Al^{3+} وجود نداشته اما تبدیل به یون‌های هیدراکسی آلومینیوم* با واکنش‌هایی مشابه زیر شده است:



بسیاری از یون‌های هیدراکسی آلومینیوم جذب شده و همانند کاتیون‌های قابل تبادل عمل می‌کنند. و بنابراین، آن‌ها ممکن است با محلول خاک همانند یون‌های Al^{3+} در خاک‌های خیلی اسیدی در تعادل باشند. در محلول خاک آن‌ها در طی واکنش‌های آبکافت به صورت زیر یون هیدروژن تولید کنند.

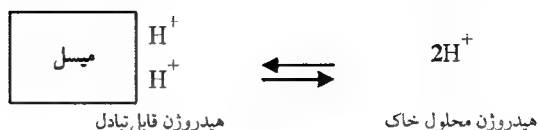


در بعضی از رس‌های نوع ۲:۱ به خصوص ورمی‌کولیت یون‌های هیدراکسی آلومینیوم (همین‌طور هیدراکسی آهن) نقش دیگری را ایفاء می‌کنند. آن‌ها به داخل فضای بین لایه‌ای واحد بلور حرکت کرده و به شدت جذب شده، و از انبساط بین بلورها ممانعت کرده و بعضی از محل‌های تبادل را قفل می‌کنند. بالا بردن pH خاک سبب جدا شدن این یون‌ها و آزاد نمودن بعضی از محل‌های تبادل می‌شود. بنابراین، یون‌های هیدراکسی آلومینیوم (و آهن) تا اندازه‌ای مسؤول بار وابسته به pH (یا بار منفی) در کل‌ییدهای خاک می‌باشند (فصل ۹-۸ را مشاهده کنید). در خاک‌ها با اسیدیته‌ی متوسط بعضی از یون‌های هیدروژن که در pH پایین به‌طور محکم در پیوند کووالانس با ماده‌ی آلی و اکسیدهای آهن و آلومینیوم و رس‌های ۱:۱ قرار گرفته بودند، در اشکال قابل تبادل می‌باشند، در نتیجه محل‌های بار منفی بیشتری در روی میسل برای بالا بردن ظرفیت تبادل کاتیونی موجود خواهد بود. یون‌های (H^+) قابل تبادل در تعادل با یون‌های H^+ محلول می‌باشد.

* - یون‌های واقعی هیدراکسی آلومینیوم بسیار پیچیده‌تر از آن‌هایی هستند که تا حال نشان داده‌ایم. فرمول‌هایی مانند $[Al_6(OH)_{12}]^{6+}$ و $[Al_{10}(OH)_{22}]$ نمونه‌های از این

یون‌های خبی غامض می‌باشند.

** همانند بسیاری از کاتیون‌های فلزی در خاک، یون Al^{3+} در واقع به شدت هیدراته بوده و به صورت $Al(H_2O)_6^{3+}$ می‌باشد به‌خاطر سادگی این یون به صورت Al^{3+} نشان داده می‌شود



در این جا نیز تنظیم اسیدیته به وسیله کلویدهای خاک و همچنین نقش غالب ین‌های هیدروژن و آلومینیوم، به نمایش گذاشته شده است.

خاک‌های خنثی تا قلیایی (pH ۷ و بالاتر)

در خاک‌ها با pH بالاتر از ۷ بیشتر محل‌های بار متغیر خالی می‌باشد. ین‌های H^+ و هیدراکسی آلومینیوم از اشکال پیوندی خارج شده‌اند. هماتف تبادل این خاک‌های خنثی تا قلیایی عمدتاً به وسیله ین‌های قابل تبادل Ca^{2+} و Mg^{2+} و سایر کاتیون‌های بازی غالب شده است. ین‌های هیدراکسی آلومینیوم و H^+ هر دو به طور عمده جایگزین شده‌اند. بیشتر ین‌های هیدراکسی آلومینیوم در طی واکنشی مانند زیر به گیسیت تبدیل شده‌اند.



ین‌های قابل تبادل H^+ به وسیله کاتیون‌های بازی آزاد شده و به داخل محلول خاک حرکت نموده و در آن‌جا با OH^- وارد واکنش شده و به آب تبدیل می‌شود.

pH خاک و همراهی کاتیون‌ها

شکل ۳-۹ اثر pH را بر توزیع ین‌ها در خاکی که دارای کلویدهای دارای بار متغیر است خلاصه می‌کند توجه داشته باشید که ظرفیت تبادل کاتیونی با افزایش pH زیاد می‌شود. همچنین به غلبه کاتیون‌ها در هماتف تبادل در خاک‌های خیلی اسیدی، اسیدی متوسط و خنثی و بالاتر توجه کنید. این شکل را به دقت مطالعه کرده و در خاطر داشته باشید که برای هر خاک، توزیع ین‌ها تا حدی متفاوت است. اثر pH در توزیع Ca^{2+} و Mg^{2+} و سایر کاتیون‌های بازی و ین‌های H^+ و Al^{3+} در یک خاک آلی (خاک ماک) و در یک خاک با غالییت رس‌های ۲:۱ در شکل ۴-۹ نشان داده شده است. توجه داشته باشید که بار دایم در هماتف تبادل خاک‌های معدنی غالب می‌باشد، درحالی‌که بارهای وابسته به pH بخش اعظم جذب را در خاک آلی تشکیل می‌دهد، بنابراین ظرفیت تبادل خاک آلی با پایین آمدن pH به شدت کاهش می‌یابد، درحالی‌که در مورد رس‌های نوع ۲:۱ این چنین کاهش اندک است. اثر pH بر روی ظرفیت تبادل کاتیونی کانولینیت و رس‌های مربوطه مشابه آن چیزی است که به وسیله ماده‌ی آلی نشان داده شده است.

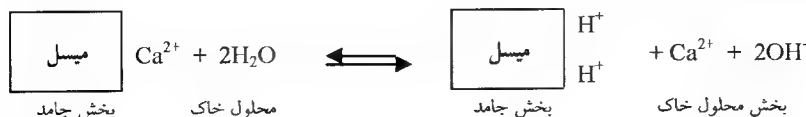
توجه داشته باشید که در شکل‌های ۳-۹ و ۴-۹ دو نوع هیدروژن و آلومینیوم نشان داده شده است: (۱) آن‌ها که به وسیله محل‌های تبادل وابسته به pH به شدت نگهداری شده‌اند (پیوند یافته) و (۲) آن‌ها که با بار منفی دایم بر روی کلویید همراه می‌باشند (قابل تبادل). فقط ین‌های قابل تبادل دارای اثر فوری بر روی pH می‌باشند، اما همان‌طور که بعداً خواهیم دید، هر دو نوع در تعیین مقدار آهک و گوگرد لازم برای تغییر pH خیلی دخیلند (فصل ۲-۹ را مشاهده کنید)

درحالی‌که عوامل مؤثر در اسیدیته‌ی خاک چندان ساده نمی‌باشند، دو گروه غالب از عناصر مشخصند، ین‌های H^+ و دیگر ین‌های دارای آلومینیوم (Al^{3+} ، $\text{Al(H}_2\text{O)}_3^{3+}$ و غیره) سبب ایجاد اسیدیته می‌شوند و اکثر کاتیون‌های دیگر با آن‌ها در مقابله می‌باشند، به خاطر سپردن این توضیح ساده ارزشمند می‌باشد.

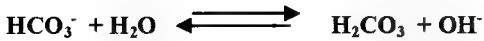
منبع ین‌های هیدراکسید

در مناطق خشک و نیمه خشک، کاتیون‌های بازی در هماتف کلوییدی خاک غالب می‌باشند. این کاتیون‌های جذب شده به دو طریق سبب بالارفتن غلظت ین OH^- در محلول خاک می‌شوند. اول آن‌ها جایگزین هیدروژن و آلومینیوم قابل تبادل که منابع اصلی ین هیدروژن همان‌طور که قبلاً تشریح شد، می‌باشند، و این سبب کاهش ین H^+ و افزایش ین OH^- معادل آن می‌گردد، زیرا رابطه‌ی معکوس بین ین‌های H^+ و OH^- در محلول‌های بازی وجود دارد.

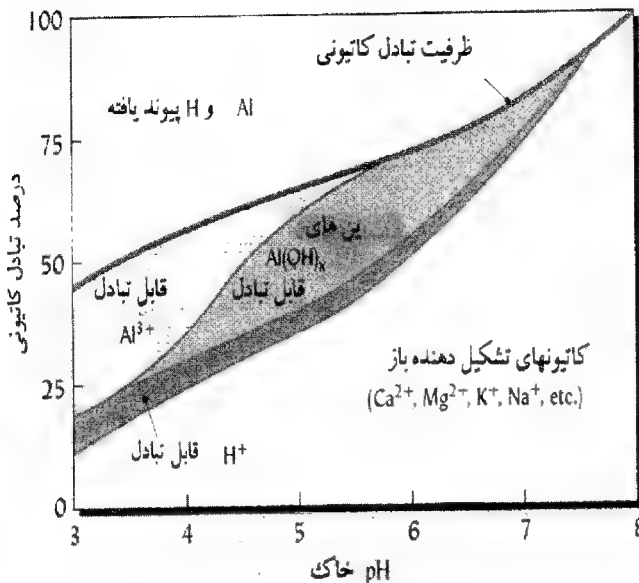
ین‌های Ca^{2+} ، Mg^{2+} و K^+ دارای اثر دوم مستقیم‌تر بر غلظت ین OH^- در محلول خاک می‌باشند آبکافت کلویدهای اشباع شده با این کاتیون‌ها سبب آزاد شدن ین OH^- به طریق زیر می‌شود:



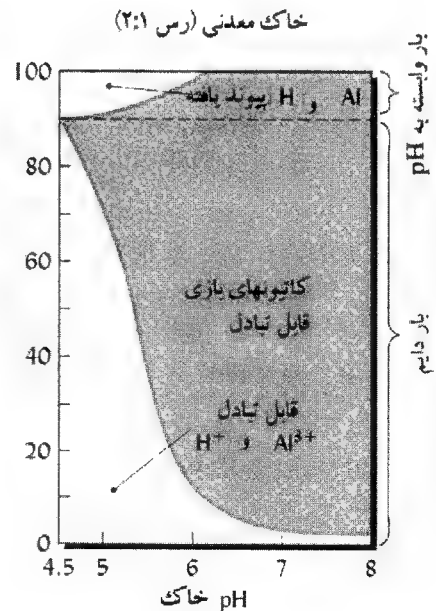
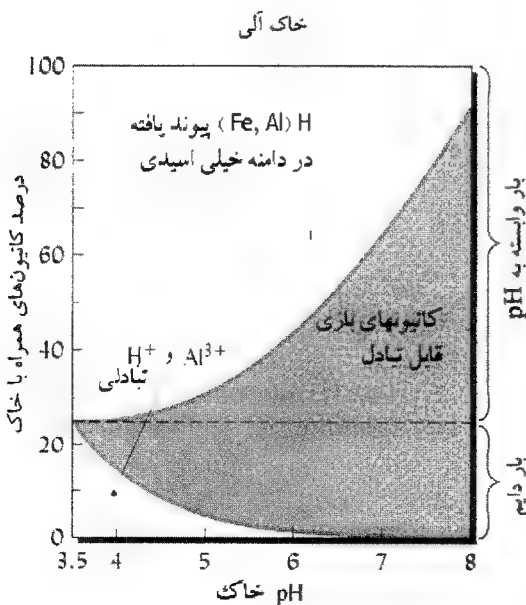
در بعضی خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک کربنات‌ها و بی‌کربنات‌های بعضی از کاتیون‌ها تمایل دارند حتی در افق‌های سطحی تمرکز یابنده این ترکیبات سومین وسیله را برای افزایش یون‌های OH⁻ ارائه می‌دهند. آن‌ها بر اثر واکنش زیر در معرض آبکافت می‌باشند :



در مقادیر بالای pH (>۸) این واکنش‌ها حاصل می‌شود، به‌خصوص اگر بی‌کربنات سدیم حضور داشته باشد. کربنات‌ها در بخش ۱۰-۱ در جزئیات مورد توجه قرار خواهند گرفت.



شکل ۳-۹ رابطه کلی بین pH خاک و کاتیون‌های نگهداری شده به‌صورت قابل تبادل و یا کاتیون‌های در پیوند با ماده‌ی آلی و کانی‌های رسی. ظرفیت تبادل کاتیونی با استفاده از داده‌های متوسط ۶۰ نوع خاک ایالت ویسکانسین برآورد شده است. به‌شواهد بار متغیر کلویید توجه کنید. زیرا با افزایش pH، CEC نیز افزایش یافت. مقادیر احتمالی کاتیون‌های قابل تبادل و پیوند یافته (غیرقابل تبادل) نشان داده شده است. در شرایط خیلی اسیدی، یون‌های قابل تبادل هیدروژن و آلومینیوم و یون‌های پیوند یافته H⁺ و Al³⁺ غالب می‌باشد. در مقادیر pH بالا کاتیون‌های بازی غالب بوده و در pH متوسط یون‌های هیدروکسی آلومینیوم مانند Al(OH)²⁺ غالب می‌باشند. این نمودار نشان‌دهنده شرایط خاص می‌باشد. هر خاک به‌خصوص احتمالاً یک توزیع دیگری را از این یون‌ها ارایه می‌دهد.



شکل ۳-۱۰ رابطه بین pH و هیدروژن، آلومینیوم و کاتیون‌های بازی همراه با یک خاک آلی (ماک) و یک خاک معدنی با غالبیت رس‌های سیلیکاتی نوع ۲:۱. به غالبیت بار دایم در یک خاک معدنی، و بار وابسته به pH در خاک آلی توجه کنید. CEC خاک آلی (جمع تمام یون‌های قابل تبادل) با پایین آمدن pH به‌سرعت کاهش یافت.

۹-۲ طبقه‌بندی اسیدیته‌ی خاک

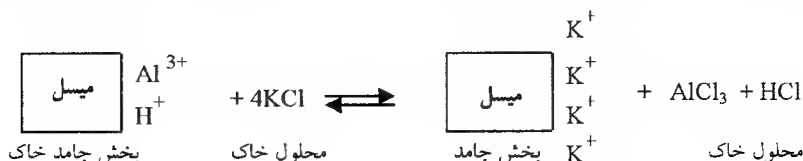
پژوهش سه منبع اسیدیته را مطرح می‌کند: (۱) اسیدیته‌ی فعال^۱ ناشی از یون‌های H^+ و Al^{3+} در محلول خاک (۲) اسیدیته‌ی قابل جایگزینی^۲ به‌وسیله‌ی نمک‌ها، شامل هیدروژن و آلومینیوم که به‌وسیله‌ی سایر کاتیون‌های موجود در یک محلول غیربافر خاک مانند KCl به آسانی قابل تبادل باشند (۳) اسیدیته‌ی باقی‌مانده^۳ که می‌تواند به‌وسیله‌ی آهک و یا سایر مواد آهکی خنثی‌گردد، اما نمی‌تواند به‌وسیله‌ی سازوکار جایگزینی نمک‌ها ردیابی شود. مجموع این انواع اسیدیته، اسیدیته‌ی کل خاک را تشکیل می‌دهد.

اسیدیته فعال

اسیدیته‌ی فعال معیاری از فعالیت یون H^+ در محلول خاک در هر زمان مورد نظر می‌باشد، که عمدتاً بر اثر آب‌کافت یون‌های دارای آلومینیوم ایجاد می‌شود. هرچند مقدار یون H^+ مربوط به اسیدیته فعال در مقایسه با اشکال قابل تبادل و باقی‌مانده بسیار اندک است. برای مثال فقط حدود ۲ کیلوگرم کربنات کلسیم برای خنثی کردن اسیدیته‌ی فعال در ۱۵ سانتی‌متر فوقانی یک هکتار خاک معدنی معمولی در pH ۴ با ۲۰ درصد رطوبت لازم است. با این وجود اسیدیته فعال بی‌نهایت مهم است زیرا محلول خاک محیطی است که در آن ریشه گیاهان و ریزجانداران خاک قرار دارند.

اسیدیته‌ی قابل جایگزینی به‌وسیله‌ی نمک‌ها (قابل تبادل)

این نوع اسیدیته اساساً در ارتباط با یون‌های قابل تبادل آلومینیوم و هیدروژن می‌باشد، که در خاک‌های اسیدی در بیشترین مقدار وجود دارند (شکل ۳-۹). این یون‌ها می‌توانند به‌وسیله‌ی یک نمک غیربافری مانند KCl به‌داخل محلول خاک آزاد شوند.

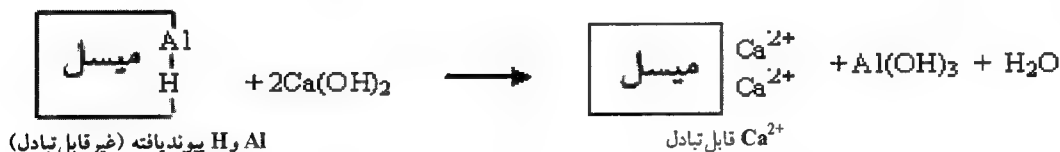


معادل شیمیایی اسیدیته‌ی قابل جایگزینی به‌وسیله‌ی نمک‌ها در خاک‌های خیلی اسیدی معمولاً هزاران برابر اسیدیته فعال در محلول خاک می‌باشد. حتی در خاک‌های اسیدی متوسط که مقدار آلومینیوم و هیدروژن قابل تبادل کاملاً محدود است، میزان آهک مورد نیاز برای خنثی کردن این نوع اسیدیته معمولاً ۱۰۰ بار بیشتر از اسیدیته محلول خاک (اسیدیته فعال) می‌باشد.

در یک pH معین، اسیدیته‌ی قابل تبادل معمولاً برای اسمکتیت بالاترین، برای ورمی‌کولیت متوسط و برای کائولینیت کمترین است. در هر حال این اسیدیته بخش کوچکی از اسیدیته کل خاک را همان‌طور که بخش بعدی مشخص خواهد کرد، تشکیل می‌دهد.

اسیدیته‌ی باقی‌مانده

معمولاً مربوط به یون‌های هیدراکسی آلومینیوم و یون‌های هیدروژن و آلومینیوم پیوند یافته در اشکال غیرقابل تبادل به‌وسیله‌ی مواد آلی و رس‌های سیلیکاتی می‌باشد (شکل ۳-۹ را مشاهده کنید). با افزایش pH این پیوند هیدروژن و آلومینیوم رها شده، و بنابراین، محل‌های منفی تبادل کاتیونی آزاد می‌شوند، و ظرفیت تبادل کاتیونی بالا می‌رود. واکنش با مواد آهکی $[Ca(OH)_2]$ نشان می‌دهد که چگونه پیوند هیدروژن و آلومینیوم آزاد می‌شود.



اسیدیته‌ی باقی‌مانده معمولاً به مراتب بیشتر از اسیدیته فعال و اسیدیته‌ی قابل جایگزینی به‌وسیله‌ی نمک‌ها (قابل تبادل)، می‌باشد. برآوردهای محتاطانه اسیدیته‌ی باقی‌مانده را ۱۰۰۰ برابر اسیدیته فعال در یک خاک شنی و ۵۰۰۰۰ و حتی ۱۰۰۰۰۰ برابر در یک خاک رسی غنی از ماده‌ی آلی مطرح می‌کنند. مقدار سنگ‌آهک آسیاب‌شده لازم برای خنثی کردن حداقل بخشی از اسیدیته باقی‌مانده در ۱۵ سانتی‌متر

¹- Active acidity

²- Salt replaceable acidity

³- Residual acidity

فوقانی خاک، معمولاً ۵-۱۰ تن متریک (مگاگرم) در هکتاری باشد. بنابراین روشن است که pH محلول خاک برای تعیین مقدار آهک لازم در اصلاح خاک‌های اسیدی همانند قله آشکار برای بیان حجم کوه یخی می‌باشد.

۳-۹ تنظیم کلوییدی واکنش خاک

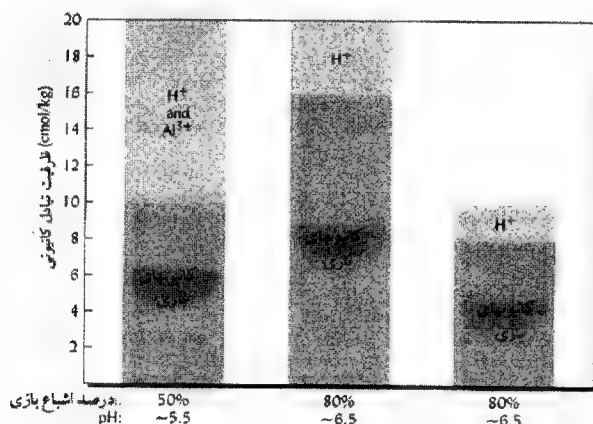
فصول قبلی به روشنی مطرح نمودند که بخش ریز خاک (رس‌ها) نقش برجسته‌ای در تنظیم pH خاک دارد. در دامنه‌ی تغییرات pH در اکثر خاک‌های حاصلخیز (۵/۵-۷/۵) تنظیم از راه‌های (۱) درصد اشباع بازی، (۲) سرشت میسل‌های خاک، (۳) انواع کاتیون‌های بازی جذب شده و (۴) میزان نمک‌ها در محلول خاک اعمال می‌شود. هر کدام از این عوامل مختصراً مورد بحث قرار می‌گیرد.

درصد اشباع بازی

عبارتست از درصدی از CEC که از کاتیون‌های بازی تشکیل شده باشد.^۱

$$\% \text{ اشباع بازی} = \frac{\text{ظرفیت تبادل کاتیونی (Cmol/Kg)}}{\text{کاتیون‌های بازی قابل تبادل (Cmol/Kg)}} \times 100$$

در خاک‌ها دارای انواع رس و ماده‌ی آلی یکسان، درصد اشباع بازی مستقیماً در ارتباط با pH خاک است. اگر خاک اصلی اسیدی باشد مقدار آن کم و در صورت افزایش pH مقدار آن نیز بیشتر می‌شود (شکل ۵-۹). توجه کنید که خاک لوم رسی در شکل ۹-۵ با CEC نسبتاً زیاد در pH ۵/۵ دارای کاتیون‌های بازی بیشتری در مقایسه با یک لوم شنی در pH ۷/۵ می‌باشد.



شکل ۹-۵ سه خاک با نوع کلویید مشابه اما درصد اشباع بازی ۵۰، ۸۰ و ۸۰ که به ترتیب اولی، لوم رسی (سمت چپ) با CEC ۲۰ cmol/Kg، دومی (وسط) همان خاک اولی است که به دلخواه آهک داده شده است و سومی (سمت راست)، یک خاک لوم شنی با CEC ۱۰ سانتی‌مول برار در کیلوگرم. توجه داشته باشید که pH خاک کم‌وبیش دارای ارتباط نزدیکی با درصد اشباع بازی می‌باشد. همچنین توجه داشته باشید خاک لوم شنی (راست) در مقایسه با خاک لوم رسی اسیدی (سمت چپ) که رس آن دارای کاتیون بازی قابل تبادل بیشتری نیز هست دارای pH بالاتری می‌باشد.

سرشت کلویید (میسل)

تفاوت قابل ملاحظه‌ای در pH کلوییدهای مختلف درصد اشباع بازی یکسان وجود دارد و این به‌خاطر اختلاف در توانایی آن‌ها برای ارائه ین هیدروژن در محلول خاک می‌باشد. برای مثال آزادشدن میزان ین H^+ جذب‌شده در رس‌های اسمکتیت بسیار بالاتر از رس‌های اکسیدهای آهن و آلومینیوم می‌باشد. بنابراین pH خاک‌های دارای رس اسمکتیت در همان درصد اشباع بازی به مراتب کمتر از اکسیدهای آهن و آلومینیوم است. ره‌اشدن هیدروژن جذب‌شده از رس‌های سیلیکاتی نوع ۱:۱ و مواد آلی در حدواسط اسمکتیت و اکسیدهای آهن و آلومینیوم می‌باشد.

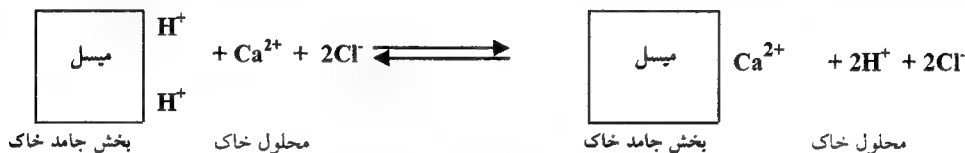
نوع کاتیون بازی

مقدار نسبی هر یک از کاتیون‌های بازی موجود در همتافت کلوییدی فاکتور مؤثر دیگری در pH خاک می‌باشد. خاک‌ها با اشباع سدیم بالا دارای مقادیر pH بالاتری از خاک‌ها با غالبیت کلسیم و منیزیم می‌باشند بعضی از خاک‌های قلیایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک دارای درصد اشباع سدیم قابل توجهی می‌باشند این مسأله در فصل دهم مورد ملاحظه قرار خواهد گرفت.

^۱ مقادیر ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) که برای محاسبه‌ی درصد اشباع بازی به‌کار می‌رود، معمولاً در pH ۷ یا ۸ که بار منفی و در نتیجه CEC بیشینه یا نزدیک بیشینه است، اندازه‌گیری می‌شود. گرچه در خاک‌های اسیدی با مقدار قابل توجهی از کلوییدهای دارای بار متغیر، CEC واقعی در هر نقطه از مزرعه به‌طور قابل ملاحظه‌ای پایین است و به‌نوبه‌ی خود، درصد اشباع بازی از آنچه که در مقادیر pH بالا اندازه‌گیری می‌شود، به‌مراتب بیشتر است.

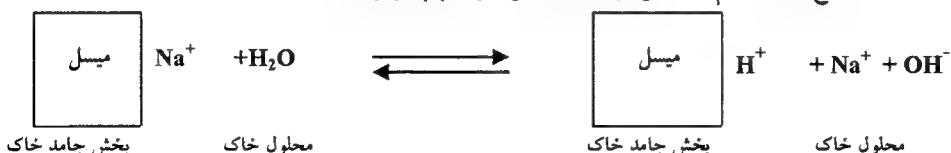
نمک‌های خنثی در محلول خاک

حضور نمک‌های خنثی مانند سولفات‌ها و کلریدهای سدیم، پتاسیم و منیزیم سبب افزایش فعالیت یون H^+ در محلول، و در نتیجه پایین آوردن pH خاک می‌گردد. برای مثال اگر $CaCl_2$ به یک خاک نسبتاً اسیدی اضافه شود میزان یون H^+ در محلول خاک افزایش می‌یابد.



حضور نمک‌های خنثی در بعضی از خاک‌های قلیایی نیز سبب پایین آوردن pH، اما طی سازوکار دیگری می‌شود (فصل ۴-۱۰ را مشاهده کنید).

در خاک‌های قلیایی نمک‌ها سبب کاهش آبکافت کلویدهای اشباع از کاتیون‌های سدیم می‌گردد، بنابراین حضور کلرور سدیم ($NaCl$) در یک خاک با نسبت اشباع بالای سدیم سبب می‌شوند که واکنش زیر به چپ برگردد:

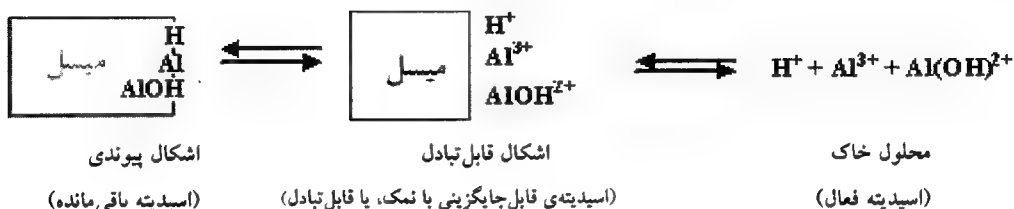


یون Na موجود در نمک سبب راندن واکنش به سمت چپ گردیده و سبب کاهش غلظت یون OH^- در محلول خاک، و پایین آوردن pH می‌شود. این واکنش دارای ارزش عملی زیادی در بعضی خاک‌های قلیایی مناطق خشک می‌باشد، زیرا از بالا رفتن pH به حدود سمی برای گیاهان ممانعت می‌کند.

از آن‌جاکه واکنش محلول تحت تأثیر چهار عامل نسبتاً مستقل ذکر شده فوق می‌باشد، یک رابطه نزدیک را نباید بین درصد اشباع و pH هنگام مقایسه خاک‌های خیلی متنوع انتظار داشت. گرچه در خاک‌ها با منشاء، بافت و کربن آلی مشابه یک رابطه نسبتاً خوب موجود است.

۴-۹- خاصیت بافری خاک

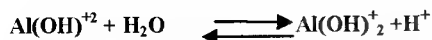
همان‌طور که قبلاً بیان گردید، خاک‌ها تمایل دارند که در مقابل تغییرات pH محلول خاک مقاومت کنند این مقاومت بافری بودن^۱ خاک نامیده می‌شود. در خاک‌ها با pH متوسط، بافر بودن را می‌توان در قالب تعادل موجود بین اسیدیته فعال، قابل تبادل و باقی‌مانده تشریح نمود (شکل ۶-۹ را مشاهده کنید) این روابط کلی می‌تواند به شرح زیر تشریح شود:



اگر مقدار کافی آهک (باز) فقط برای خنثی کردن یون‌های هیدروژن در محلول خاک مصرف شود، با حرکت واکنش فوق به سمت راست این هیدروژن جبران خواهد شد. و بنابراین تغییر در pH محلول خاک، کمینه مقدار خواهد شد (شکل ۷-۹). به همین ترتیب، اگر غلظت یون‌های هیدروژن (H^+) محلول خاک (برای مثال) بر اثر تجزیه مواد آلی و یا اضافه کردن کودهای شیمیایی افزایش یابد، واکنش را به سمت چپ خواهد راند، و بدین ترتیب تغییرات pH محلول خاک را دوباره به حداقل خواهد رساند. در هر دو مورد در خاک‌های دارای اسیدیته متوسط، مشاهده می‌شود که بافری بودن تحت تأثیر واکنش با هم‌تافت تبادل کاتیونی می‌باشد.

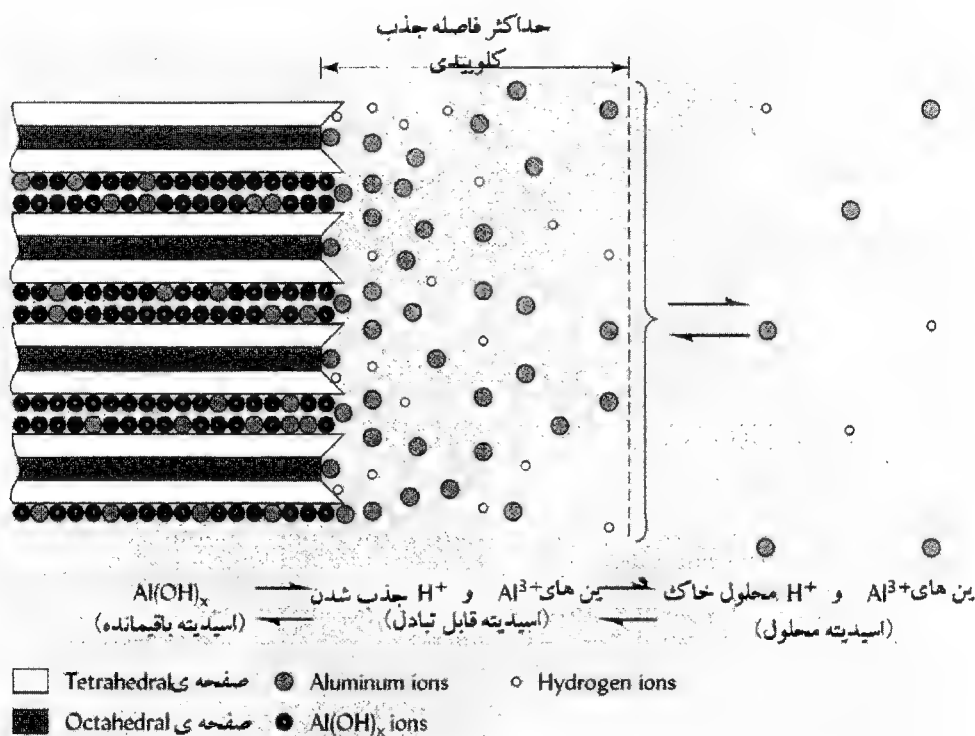
در خاک‌های خیلی اسیدی واکنش‌های تعادلی که شامل یون‌های هیدراکسی آلومینیوم و آهن است، دومین سازوکار مهم دیگر در مقاومت خاک به تغییرات pH می‌باشد، واکنش‌های همانند زیر صورت می‌گیرد:

^۱ - Soil buffering



اضافه کردن یون H^+ سبب راندن واکنش به چپ گردیده، و بنابراین یونهای H^+ اندکی در محلول خاک تمرکز یافته و pH اندکی کاهش پیدا خواهد کرد به همین ترتیب اضافه کردن یونهای OH^- سبب راندن واکنش به راست خواهد شد در هر دو حالت تغییر در pH محلول خاک کوچک بوده و به عبارت دیگر بافری شدن صورت خواهد گرفت.

واکنشهای بافری مشابهی شامل کربناتها، بی کربناتها، اسید کربنیک و آب در خاکهای قلیایی صورت می گیرد.



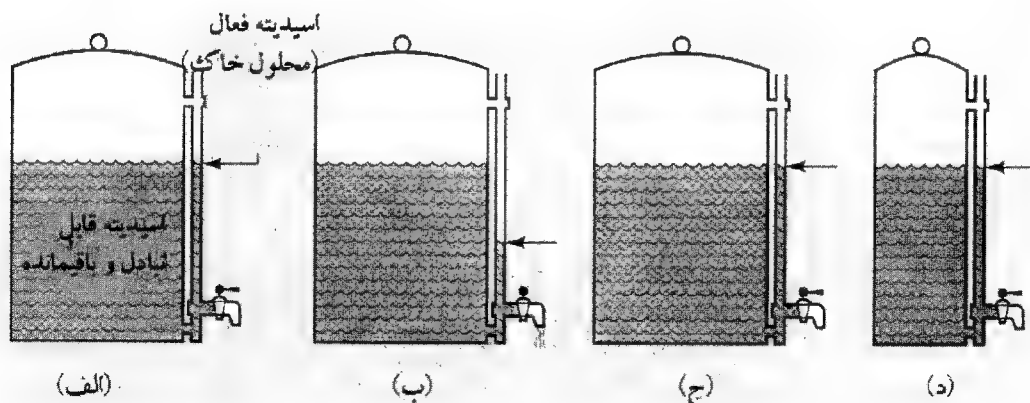
شکل ۶-۹ روابط تعادلی بین اسیدیته باقی مانده، قابل تبادل و فعال در کلویید ۲:۱. توجه کنید که یونهای جذب شده و باقی مانده بسیار فراوان تر از یونهای محلول خاک هستند گرچه حتی فقط بخش کوچکی از بلور رس نشان داده شده است. یونهای Al(OH)_x با شدت زیادی در فضای داخلی نگهداری شده اند و قابل تبادل نمی باشند. به خاطر داشته باشید که یونهای آلومینیوم با آبکافت، یونهای هیدروژن در محلول خاک عرضه می کنند آشکار است که خشتی کردن فقط یونهای آلومینیوم و هیدروژن در محلول خاک دارای پیامد اندکی می باشد زیرا آنها به سرعت به وسیله ی آزاد شدن یونهای کلویید جایگزین می شوند. خاک بنابراین ظرفیت بافری بالایی را به نمایش می گذارد.

افزودن یون H^+ سبب راندن واکنش به سمت راست شده در صورتی که افزایش یونهای OH^- سبب راندن واکنش به سمت چپ می شود. در هر حال مقاومت در مقابل تغییرات pH (بافری شدن) صورت می گیرد. بنابراین در سرتاسر دامنه ی pH سازوکارهایی برای بافری نمودن محلول خاک و مقاومت در مقابل تغییرات سریع pH وجود دارد.

ما به سه سازوکار اصلی برای بافری بودن خاک پی بردیم (۱) واکنش با ترکیبات آلومینیوم در pH پایین (۲) تبادل کاتیونی در pH متوسط (۳) واکنش با کربناتها در pH بالا. دامنه pH و درصد اشباع بازی که این سه سازوکار در یک گروه از خاکها مؤثر می باشند در شکل ۸-۹ نشان داده شده است. در حالی که روابط واقعی pH و BS خاک به خاک تفاوت دارد، این سه راه کار اصلی بافری معمولاً وجود دارند.

اهمیت بافری^۱ بودن خاک

بافری بودن خاک به دو دلیل اساسی مهم می‌باشد. اول آن‌که این خصوصیت پایداری اسیدیته‌ی خاک را تضمین نموده و از نوسانات شدید آن، که برای گیاهان و ریزجانداران مهلک است، جلوگیری می‌کند. برای نمونه، خاک‌های دارای ظرفیت بافری خوب در مقابل اثرات اسیدی شدن باران‌های اسیدی در خاک و زهاب مقاومت می‌کنند. دوم آن‌که خاصیت بافری در مقدار موادی اصلاحی مانند آهک و گوگرد، که برای تغییر مورد نظر در pH خاک لازم می‌باشند مؤثر است.



شکل ۷-۹ عمل بافری یک خاک می‌تواند به کار یک قهوه‌جوش تشبیه گردد. (الف) اسیدیته فعال که به‌وسیله‌ی قهوه در لوله نشانگر در خارج از مخزن معرفی می‌شود، از نظر مقدار کم می‌باشد. (ب) وقتی ین‌های هیدروژن مصرف شدند، این اسیدیته فعال به‌سرعت پایین می‌آید. (ج) اسیدیته فعال با حرکت از اسیدیته‌ی قابل‌تبادل و باقی‌مانده به‌سرعت تا سطح اولیه جبران می‌شود، با این فرایند، مقاومت قابل‌ملاحظه‌ای در مقابل تغییر اسیدیته‌ی فعال به‌عمل خواهد آمد. خاک دیگر با همان اسیدیته فعال (pH) اما با اسیدیته‌ی قابل‌تبادل و باقی‌مانده کمتر (د) دارای ظرفیت بافری پایین‌تری می‌باشد.

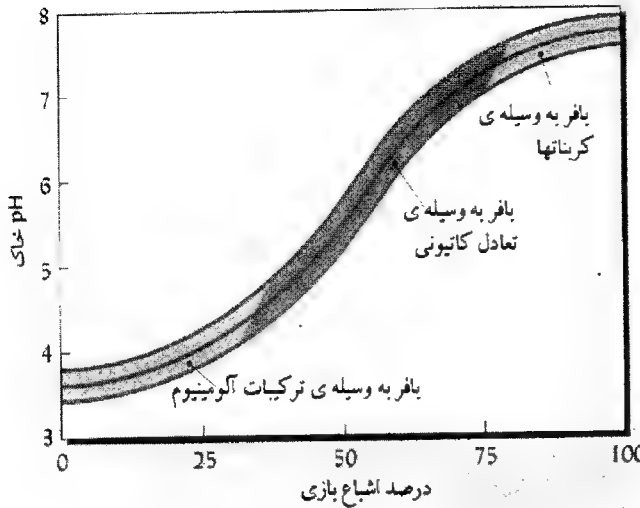
۵-۹ ظرفیت بافری خاک‌ها

خاک‌ها از نظر ظرفیت بافری خود بسیار متغیر می‌باشند. در صورت یکسان‌بودن سایر عوامل هرچه ظرفیت تبادل کاتیونی یک خاک بیشتر باشد ظرفیت بافری آن بالاتر است، این رابطه به‌این دلیل برقرار است که در این خاک‌ها اسیدیته‌ی ذخیره و قابل‌تبادل بیشتری باید اضافه یا خنثی شود تا سبب یک تغییر کوچک در pH خاک گردد. بنابراین یک خاک لوم رسی که دارای ۶ درصد ماده‌ی آلی و ۲۰ درصد رس ۲:۱ باشد از یک خاک لوم شنی با ۲ درصد ماده‌ی آلی و ۱۰ درصد رس کائولینیت دارای ظرفیت بافری بسیار بالاتری می‌باشد.

منحنی بافری خاک

منحنی‌های بافر خاک که در شکل ۸-۹ نشان داده شده است مطرح می‌کنند که بعضی از خاک‌ها در pH زیر ۵ و بالای ۷ به‌شدت بافر می‌باشند. در این محدوده ترکیبات آلومینیوم (pH پایین) و کربنات‌ها (pH بالا) واکنش‌های بافری را تنظیم می‌کنند. خاک در مقادیر pH حدواسط، که در آن تبادل کاتیونی، عمده‌ترین سازوکار بافری است در کمترین ظرفیت بافری می‌باشد. هرچند تغییرات خیلی زیادی در روابط بین pH و درصد اشباع بازی در خاک‌ها موجود می‌باشد. بخشی از این تغییرات مربوط به اختلاف کلویدهای خاک در تأثیر pH بر درصد اشباع بازی آن‌ها می‌باشد. به‌همین ترتیب اختلاف در بین خاک‌ها در مقدار پیوند با هم‌تافت‌های هیدراکسی آلومینیوم آن‌ها می‌باشد، که می‌توانند با بالا رفتن pH سبب جذب ین‌های OH⁻ گردند و در نتیجه بعضی از اختلافات در بین روابط pH و اشباع بازی را توضیح دهند. این روابط همچنین تحت تأثیر افزایش CEC ماده‌ی آلی و بعضی از رس‌های ۱:۱ با افزایش pH می‌باشد.

^۱ - Buffering

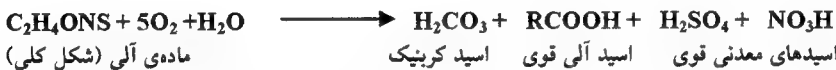


شکل ۸-۹ رابطه ی بین درصد اشباع بازی و pH خاک های ورمونت، دامنه pH مناسب که در آن هر سه سازوکار بافری شدن بسیار فعال می باشند. ترکیبات آلومینیوم در pH پایین، تبادل کاتیونی در pH حدوسط و کربنات ها در pH بالا. اگر چه تغییرات زیادی در بین یک خاک با خاک دیگر در مورد رابطه ی pH با اشباع بازی موجود است، سه سازوکار عمده ی مشخص شده برای بافری شدن خاک ها معمولاً صادق می باشد.

۹-۶ تغییرات در pH خاک

تغییرات طبیعی

فراایندهای هوازدگی و تخریب مواد آلی در طبیعت منجر به تشکیل مواد شیمیایی تولیدکننده ی اسید و باز خواهند شد کاتیون های تشکیل دهنده باز (Ca^{2+} , Mg^{2+} و ...) از صخره ها و کانی ها در طول تجزیه ی آنها آزاد می شوند. این های هیدروژن به عنوان نتیجه ی نهایی یک رشته از واکنش های پیچیده در طی تجزیه مواد آلی ایجاد می گردند:



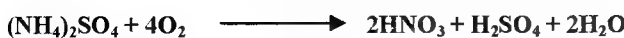
با تفکیک این اسیدها، آنها به منابع مستقیم ی هیدروژن تبدیل می شوند. آنها همچنین در حل کردن آلومینیوم از سطوح معدنی، که عامل کلیدی در خاک های خیلی اسیدی است کمک می کنند.

در مناطق با بارندگی اندک آبشویی کاتیون های بازی به طبقات پایین کم است. بنابراین این کاتیون ها برای اشغال محل های تبادل در هم تافت کلوییدی قادرند با ی هیدروژن و آلومینیوم رقابت کنند. این سبب ایجاد درصد اشباع بازی بالا و مقادیر pH ۷ و یا بالاتر می گردد. در مناطق مرطوب تر آبشویی افق های فوقانی، آنها را از کلسیم و سایر کاتیون های بازی تخلیه کرده هیدروژن و آلومینیوم تجمع می یابند، درصد اشباع بازی کاهش یافته و pH پایین می آید. شکل ۹-۹ اثر فزاینده اقلیم مرطوب را بر میزان اسیدیته در مناطق زیر پوشش جنگل طبیعی و مراعات تشریح می کند.

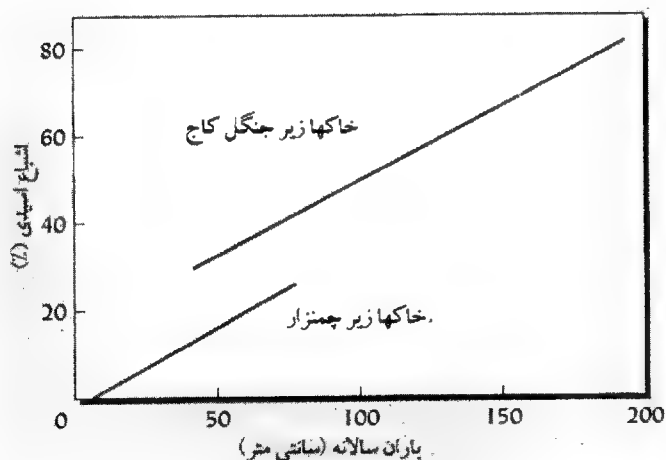
تغییرات ناشی از دخالت انسان

در زمان های اخیر این تغییرات طبیعی درازمدت بر اثر تغییراتی که ریشه در فعالیت های انسان دارد به طور فزاینده ای تقویت یافته است. بالا رفتن سریع جمعیت انسانی همراه با صنعتی شدن گسترده سبب تقویت بعضی از فعالیت ها می شود که اثرات قابل توجهی بر pH خاک دارند، تعداد اندکی از این فعالیت ها مورد ملاحظه قرار خواهند گرفت.

استفاده از کودهای شیمیایی: کودهای شیمیایی، درحالی که سبب افزایش قابل توجهی در تأمین غذای جهانی شده اند، تغییرات قابل توجهی را نیز در pH خاک به بار آورده اند. کودهای مورد استفاده گسترده آمونیومی مانند $(NH_4)_2SO_4$ و $(NH_4)_2HPO_4$ در خاک به وسیله ی ریزجانداران اکسیده شده و اسیدهای معدنی قوی در طی واکنش هایی مانند زیر تولید می کنند.

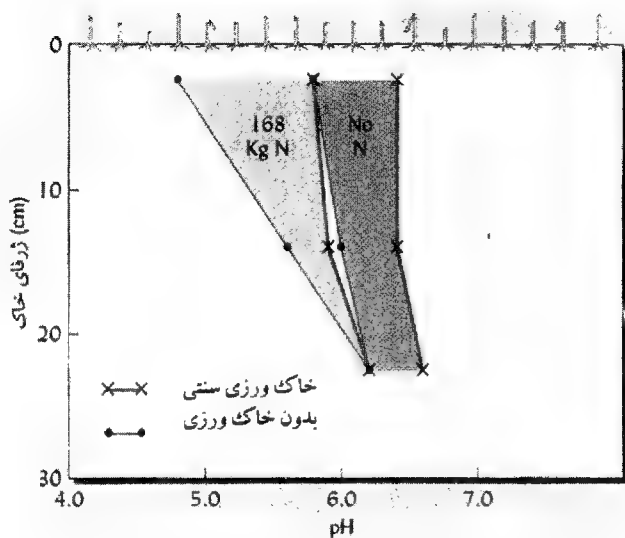


این اسیدهای قوی تولیدین H^+ کرده که سبب پایین آمدن مقدار pH می شود. از آنجاکه مصرف کودهای شیمیایی در مقیاس جهانی از سال ۱۹۵۰ تا سال ۱۹۹۰ ده برابر افزایش یافته است، اثرات این نوع واکنش ها اندک نمی باشد. تنها در ایالت متحده حداقل ۲۰ میلیون تن متریک آهک لازم است تا اسیدیته حاصل از کودهای شیمیایی را در هر سال خشی کند.



شکل ۹- اثر بارندگی سالانه بر درصد اشباع اسیدی در خاک کشت وکارنشده ی کالیفرنیا تحت چمنزار و جنگل کاج. توجه کنید که درجه ی اسیدی شدن با افزایش بارندگی فزونی می یابد. همچنین توجه کنید که جنگل درجه بالاتری از اسیدیته خاک در مقایسه با چمنزارها تولید نموده است.

عملیات خاک ورزی: این عملیات در pH افق های فوقانی خاک مؤثر می باشند. در نظام خاک ورزی بدون انجام شخم و شیار تجزیه ی بقایای آلی متراکم شده در سطح خاک سبب ایجاد اسیدهای آلی و معدنی می گردد که سبب اسیدی شدن خاک می شوند. به همین طریق، کودهای ازته، که اساساً در لایه های سطحی در نظام خاک ورزی بدون انجام شخم و شیار استعمال می شود، سبب بروز اثرات اسیدی گشتن ناحیه های کودهای شیمیایی می شود. اثرات مشترک عملیات خاک ورزی و مصرف کودهای شیمیایی در pH خاک در شکل ۱۰-۹ نشان داده شده است. به خاطر داشته باشید، که لایه های خاک، که تحت تأثیر قرار می گیرند، آنهایی هستند که نزدیک سطح خاک بوده و تراکم ریشه در آنجا حداکثر است. خوشبختانه، آن ها افق هایی هستند که تحت بیشترین تأثیر با مصرف سطحی مواد آهکی قرار می گیرند.



شکل ۱۰-۹ اثرات ۱۰ سال دو نوع عملیات خاک ورزی (مرسوم و بدون خاک ورزی) با و بدون مصرف کود نیتروژن در pH یک خاک الفی سول در مرزعه ذرت در کنتاکی. کرت های بدون خاک ورزی از نظر pH به طور پایدار از خاک ورزی سستی پایین تر بودند. این تفاوت در کرت ها با تیمار ازت تشدید گردید، به خصوص در چند سانتی متری بالای خاک. تفاوت احتمالاً عمدتاً به خاطر تشکیل اسید آلی از تجزیه پس مانده ها در کرت های بدون خاک ورزی و اسیدهای معدنی (مانند HNO_3) از کود نیتروژن مصرف شده در سطح است.

نهشته های اسیدی حاصل از نیوار: باران اسیدی دومین منبع مهم جهانی اسید نیتریک و اسید سولفوریک است. گازهای حاوی ازت و گوگرد از طریق احتراق ذغال سنگ، بنزین و سایر سوخت های فسیلی و همچنین سوخته شدن جنگل و پس مانده های گیاهی، در نیوار انتشار می یابد (شکل ۱۱-۹ را مشاهده کنید). این گازها با آب و سایر مواد در نیوار برای تشکیل HNO_3 و H_2SO_4 وارد واکنش شده و سپس در آب باران به زمین باز می گردند. این ریزش ها باران اسیدی نامیده می شود، زیرا pH آن معمولاً بین ۴ تا ۴/۵ بوده و ممکن است حتی به ۲

نیز برسد. بارندگی معمولی که با گازکربنیک نیوار در حال تعادل می باشد دارای pH ۵ تا ۶ است. نقشه‌ای که pH باران‌های اسیدی را در شمال آمریکا نشان می‌دهد، در شکل ۹-۱۲ آمده است.

مقدار اسیدسولفوریک و اسیدنیتریک واردشده به زمین از طریق باران‌های اسیدی بسیار زیاد است، اما مقدار وارده به یک هکتار زمین در سال برای تغییر سریع pH خاک کافی نمی‌باشد. در طول زمان اثرات تراکمی نهشته‌های سالانه می‌تواند هم در خاک‌ها و هم در گیاهان کاشته شده تأثیرگذار باشد.

باران‌های اسیدی به‌خصوص در مناطق جنگلی مرطوب در نزدیکی نقاط شهری و صنعتی که آلاینده‌های حاوی S و N عرضه می‌کنند نگران‌کننده می‌باشد. جنگل‌ها در بخش شرقی ایالات متحده و اکثر اروپا تحت تأثیر این باران‌ها قرار گرفته‌اند (شکل ۹-۱۳ را مشاهده کنید). مطالعات نشان داده‌اند که آبشویی کاتیون‌های بازی و تحرک آلومینیوم با حضور آنیون‌های قوی اسیدی (NO_3^- و SO_4^{2-}) همراه با یون H^+ حاصل از باران‌های اسیدی در محلول خاک افزایش می‌یابد. شکل ۹-۱۴ کاهش Ca^{2+} ، Mg^{2+} و K^+ و مقدار pH خاک را در طول ۲۰ سال در ۲ حوزه‌ی آب‌خیز جنگلی که تحت تأثیر باران‌های اسیدی قرار گرفته بودند نشان می‌دهد. درحالی‌که فرایندهای طبیعی بدون شک علت بخشی از این تغییرات می‌باشند، به‌نظر می‌رسد حداقل نصف آن‌ها به‌دلیل باران‌های اسیدی حاصل از فعالیت انسانی است.

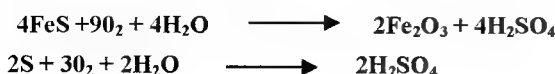
آبشویی کلسیم و فعال نمودن آلومینیوم منجر به نسبت‌های Ca/Al کمتر از یک در محلول خاک می‌شود، این نسبت به‌عنوان آستانه‌ی محدودیت رشد نباتی و جذب عناصر غذایی تلقی می‌گردد. غلظت‌های بالاتر آلومینیوم می‌تواند سبب ایجاد مسمومیت و کاهش جذب کلسیم و سایر عناصر به‌وسیله‌ی درختان و سایر گیاهان گردد.

پس از تصویب طرح هوای تمیز در سال ۱۹۷۰، تنش‌های نیواری اسیدسولفات‌ها در شمال آمریکا به‌طور عمده‌ای کاهش یافته است، متأسفانه افزایش قابل‌انتظار در pH در بعضی از رودخانه‌های شمال شرق آمریکا صورت نگرفته است. به‌نظر می‌رسد معضل مزبور ناشی از این حقیقت باشد که بعضی از مقررات، که سبب کاهش انتشار گازهای SO_4 و NO_x شده است سبب کاهش انتشار بیشتری از کلسیم و سایر کاتیون‌های بازی موجود در دود است که از توده‌های دودزا جدا می‌شوند. درهرحال نظارت بر اثرات باران اسیدی، به‌خصوص در مناطق جنگل‌های مرطوب اروپا و آمریکا که در آن‌ها باران‌های اسیدی به‌عنوان یکی از علت‌های کاهش توان تولید اراضی جنگلی مورد شک و بررسی است ادامه دارد. متأسفانه، کوشش برای جبران کاتیون‌های بازی در خاک‌های جنگلی به‌دلیل پرهزینه‌بودن و مشکلات استعمال مسود آهکی از طریق پاشیدن هوایی و دیگر روش‌ها در مناطق دارای درختان دایمی بی‌نتیجه است.

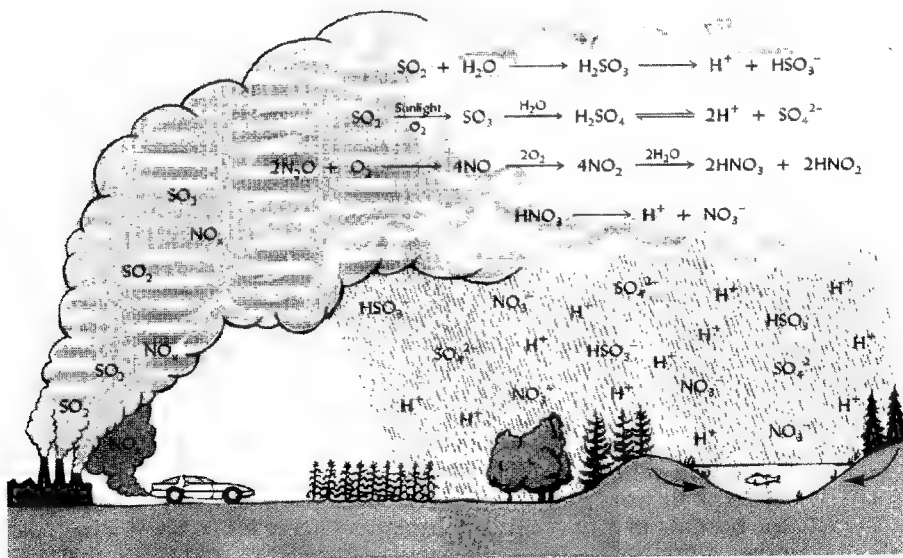
دفع فضولات آلی تولیدکننده‌ی اسید: جای‌گذاری فضولات مانند مواد جامد فاضلاب‌ها (لجن) بر روی اراضی کشاورزی و جنگلی یکی دیگر از فعالیت‌های انسانی است که در واکنش خاک مؤثر می‌باشد. یکی از پیامدهای معمول این اقدامات اسیدی‌شدن خاک است. اسیدهای آلی و معدنی با تجربه مقادیر زیاد لجن فاضلاب تشکیل گردیده و pH خاک پایین می‌آید (شکل ۹-۱۵). خوشبختانه، در بعضی از کشورها اصلاح این فضولات با آهک قبل از مصرف آن‌ها تضمین می‌شود. درواقع بعضی از لجن‌های آهک‌زده ممکن است دارای pH نهایی ۷/۵-۸/۵ باشند که آن‌ها را برای مقابله با اسیدیته خاک مفید می‌سازد. تنظیم pH خاک پس از مصرف لجن فاضلاب به‌منظور به‌حداقل رساندن فعالیت عناصر فلزی موجود در بعضی از آن‌ها نیز بر طبق مقررات انجام می‌گیرد (بخش ۸-۱۸ را مطالعه کنید).

عملیات آبیاری: در مناطق خشک و نیمه‌خشک آبیاری می‌تواند به تجمع نمک‌های اضافی بیانجامد و سبب افزایش نامطلوب pH و همین‌طور شوری خاک گردد. آب آبیاری نمک را از حوزه آب‌خیز بالادست و مناطق آبیاری به اراضی آبی پایین‌دست رودخانه انتقال می‌دهد. وقتی آب تبخیر می‌شود، نمک‌ها باقی مانده و می‌توانند در افق‌های سطحی تجمع یابند. از جمله‌ی آن‌ها نمک‌های دارای یون Na^+ است که می‌تواند به‌وسیله‌ی کلویدهای خاک جذب گردد، به‌خصوص اگر یون بی‌کربنات وجود داشته باشد، این سبب مقادیر نامطلوب pH و همین‌طور عدم پایداری ساختمان می‌شود. این موضوع در جزئیات بیشتر در فصل ۱۰ مورد توجه قرار خواهد گرفت.

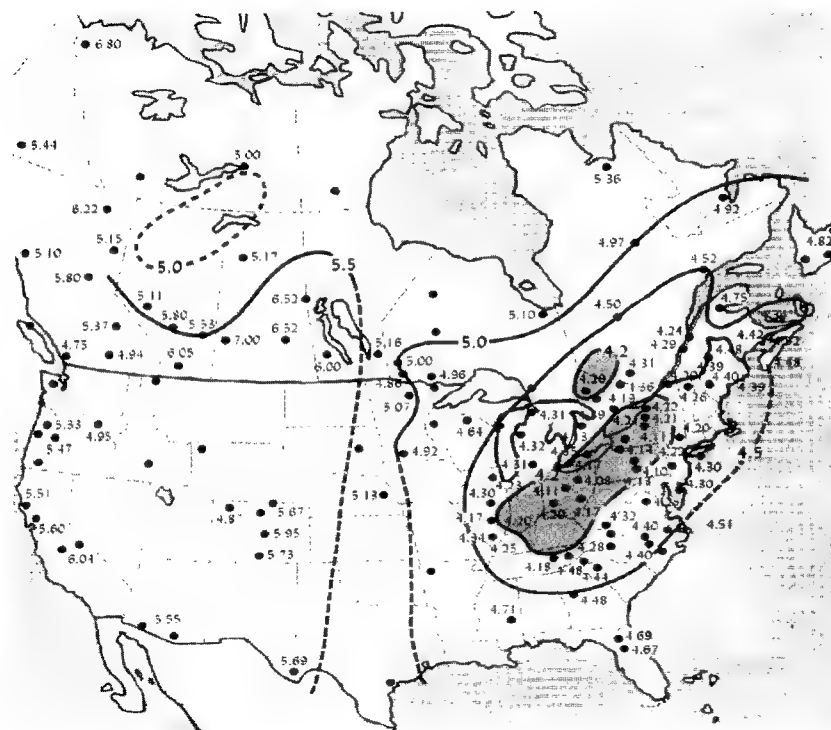
زه‌کشی بعضی از اراضی ماندابی ساحلی: خاک‌ها در بعضی از مناطق ساحلی جنوب شرقی آمریکا و اراضی مشابه در بعضی از کشورهای جنوب شرق آسیا و غرب آفریقا دارای مقادیر زیادی پیریت (FeS_2)، سولفید آهن (FeS) و گوگرد عنصری (S) می‌باشند که بر اثر احیاء میکروبی سولفات‌ها ایجاد شده‌اند. وقتی این اراضی زه‌کشی می‌شوند FeS و S اکسیده شده و نهایتاً سبب ایجاد اسید سولفوریک می‌شوند که علت اطلاق واژه‌ی خاک‌های اسید سولفاته به آن‌ها می‌باشد.



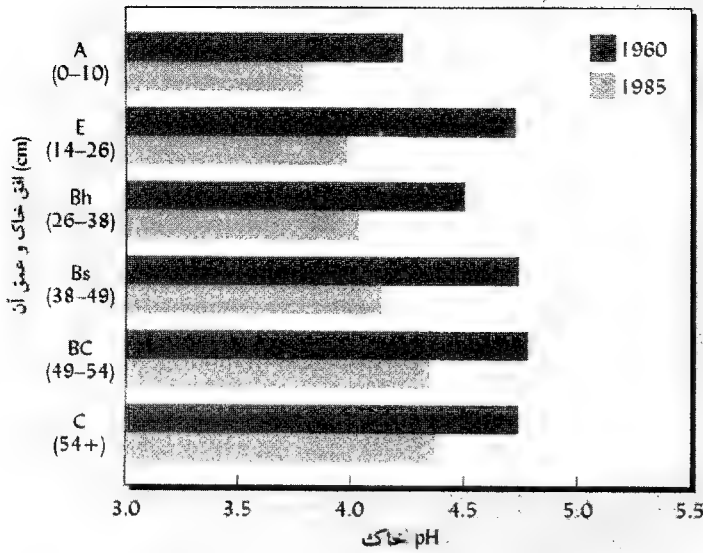
در مورد خاک‌های دارای مقادیر زیاد از این ترکیبات حاوی گوگرد، که با اکسیدشدن تولید اسید می‌کنند، گفته می‌شود، که دارای توان بالای اسیدی شدن می‌باشند. در هر حال وقتی این خاک‌ها در حین عملیات زه‌کشی و یا حفاری با اکسیژن مواجه می‌شوند اسیدیته شدید حاصل گردیده و pH های پایین تا حد ۱/۵ نیز گزارش شده است. معروف مقادیر فوق‌العاده زیاد آهک مورد نیاز برای خشتی کردن این اسیدیته عملاً غیراقتصادی می‌باشد. بهترین راه این است که این خاک‌ها نه تنها به‌خاطر دلایل کشاورزی و اقتصادی بلکه برای اجتناب از آلودگی حاصل از زه‌کشی اسیدی و حفظ این اراضی به‌عنوان زیستگاه‌های طبیعی حیات وحش و گیاهی دست‌نخورده باقی مانده، و پا به شرایط قبل از زه‌کشی برگردانده شوند.



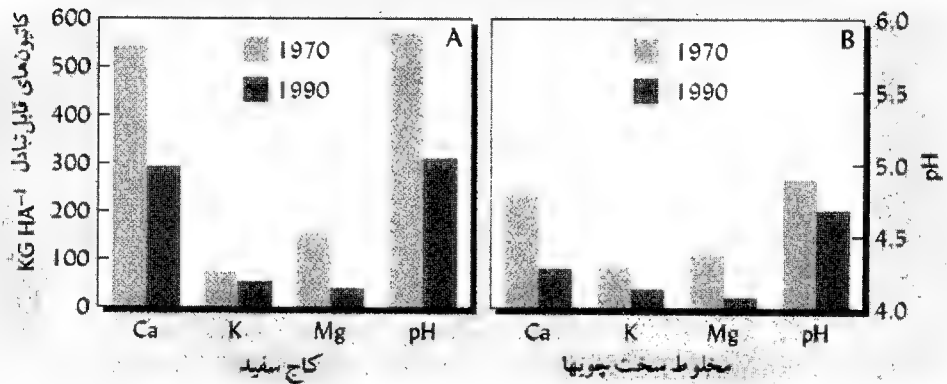
شکل ۹-۱۱ تشریح تشکیل اکسیدهای ازت و گوگرد ناشی از احتراق سوخت‌ها در فراوری معادن سولفیدها و موتور وسایل نقلیه، اکسایش بیشتر این گازها و واکنش آن‌ها با آب برای تشکیل اسید سولفوریک و نیتریک نشان داده شده است. این سبب اسیدی شدن آب باران می‌شود که بعداً بر روی خاک نازل می‌گردد. NOx در شکل بیانگر مخلوطی از اکسیدهای ازت عمدتاً N2O و NO می‌باشد.



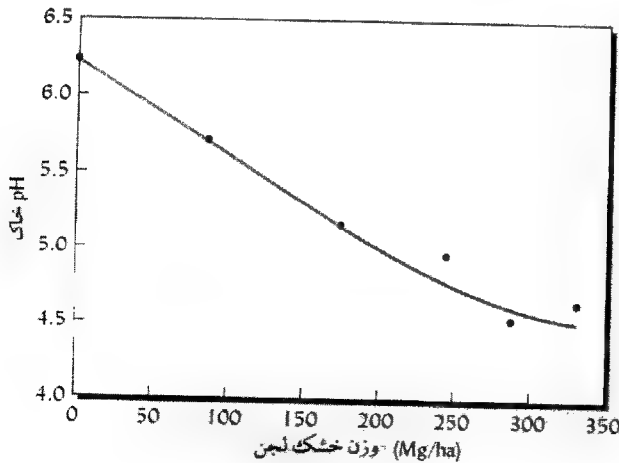
شکل ۹-۱۲ میزان میانگین وزنی pH بارندگی سالانه بر حسب مقدار بارندگی در آمریکا و کانادا در سال ۱۹۸۰



شکل ۹-۱۳ کاهش pH خاک در ۶۷ محل از خاک‌های اسپدوسول جنگلی در شمال بلژیک که فکر می‌کنند به خاطر ۲۵ سال نهشته‌های اسیدی نیواری و همین‌طور اسیدی‌شدن طبیعی باشد.



شکل ۹-۱۴ کاتیون‌های قابل‌تبادل Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} و pH خاک از سال ۱۹۷۰ تا سال ۱۹۹۰ به‌طور چشمگیری در افق A در ۲ حوزه آب‌خیز مناطق کوهستانی کارولینای شمالی کاهش یافت. یک حوزه (الف) کاج سفید و حوزه دیگر (B) درختان پهن‌برگ (چوب‌سخت) تولید می‌کنند. این کاهش‌ها می‌توانند بر اثر جذب کاتیون‌ها به وسیله‌ی درختان و افزایش آبشویی کاتیون‌های Ca^{2+} , Mg^{2+} و K^{+} از خاک به وسیله‌ی باران‌های اسیدی تشریح گردند.



شکل ۹-۱۵ اثر کاربرد مقادیر زیاد لجن فاضلاب در طول ۶ سال در pH یک خاک پالوداف (لوم شن ریز اورنج برگ^۱) کاهش pH به دلیل وجود اسیدهای آلی و معدنی مانند HNO_3 می‌باشد که در طول تجزیه و اکسایش مواد آلی ایجاد شده‌اند.

^۱ - Orangeburg fine Sandy loam

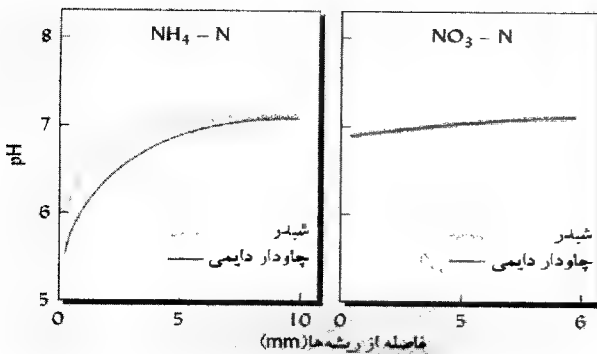
نوسانات اندک pH

نوسانات اندک pH خاک در نتیجه حرکت نمک‌ها به‌داخل و یا خارج افق‌های خاک در اثر بالا رفتن و پایین آمدن رطوبت در خاک‌رخ می‌باشد. به همین ترتیب pH خاک‌های معدنی در طول فصول رشد گیاهان به دلیل اسیدهای ایجاد شده به وسیله ریزجانداران خاک و ریشه گیاهان عالی، کاهش می‌یابد. وقتی دمای خاک کاهش می‌یابد، مانند پاییز در مناطق معتدل، افزایشی در pH به‌خاطر آرام‌بودن فعالیت‌های زیستی مشاهده می‌شود.

تغییرات پین هیدروژن

تغییرات قابل‌ملاحظه‌ای در pH محلول خاک در بخش‌های هم‌جوار خاک وجود دارد. تفاوت‌های در pH خاک در نقاطی که فقط چند سانتی‌متر با هم فاصله داشته‌اند گزارش شده است. چنین تغییرات ممکن است ناشی از تجزیه میکروبی پس‌مانده‌های مواد آلی غیریکخواخت توزیع شده در خاک و یا اثرات ریشه گیاهان باشد فصل ۷-۱۱ را مشاهده کنید. pH فراریشه (ریزوسفر)^۱ بلافاصله در اطراف ریشه‌ها با جذب یون‌های آمونیوم از خاک اطراف کمتر است (شکل ۱۶-۹) زیرا یون NH_4^+ سبب جایگزینی یون‌های H^+ سطح ریشه و کاهش pH می‌شود.

تغییرات محلول خاک از جنبه‌های بسیاری مهم است. برای نمونه، برای ریشه گیاهان و ریزجانداران خاک محیط‌های مختلفی از محلول خاک فراهم می‌کند. موجوداتی که با غلظت پین هیدروژن به‌طور نامطلوب مواجه می‌شوند ممکن است در یک فاصله بی‌نهایت کوچک یک محیط متفاوت رضایت‌بخش‌تری را پیدا کنند. تفاوت محیط‌ها ممکن است تا حدی تنوع گونه‌های میکروبی موجود در خاک‌های معمول را توجیه کند.



شکل ۹-۱۶ فراریشه در فواصل مختلف ریشه‌ی چاودار و شیدر با دریافت نیتروژن نیتراتی و نیتروژن آمونیایی. تبادل یون NH_4^+ با یون H^+ در سطح ریشه سبب آزاد شدن آن‌ها به فراریشه و بنابراین کاهش pH گردید در مورد NO_3^- این تبادل و کاهش pH صورت نمی‌گیرد.

۹-۷ واکنش خاک: همبستگی‌ها

اطلاعات pH خاک برای مدیر خاک مفید است، زیرا pH در تعداد زیادی از پدیده‌های شیمیایی و زیستی در خاک‌ها مؤثر می‌باشد. شکل ۹-۱۷ یک نمونه را تحت عنوان: اثر اسیدیته‌ی خاک (سمیت آلومینیوم) بر رشد ریشه‌ی پنبه در خاک‌های معدنی ارائه می‌کند. چند نمونه دیگر برای تشریح هرچه بیشتر این نکته در زیر مورد ملاحظه قرار خواهند گرفت.

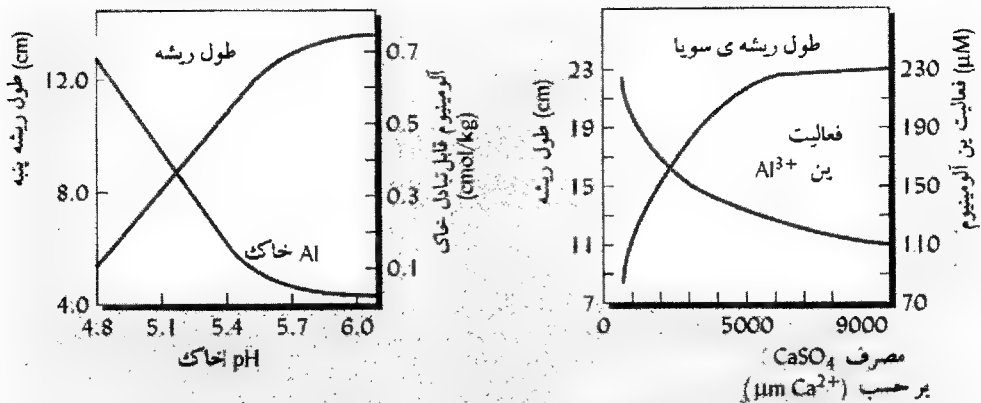
قابلیت استفاده عناصر غذایی و فعالیت میکروبی

شکل ۹-۱۸ به‌طور کلی رابطه‌ی بین pH خاک و قابلیت استفاده‌ی عناصر غذایی و همین‌طور فعالیت ریزجانداران خاک را نشان می‌دهد. توجه کنید که در خاک‌ها با اسیدیته‌ی قوی قابلیت استفاده عناصر پرمصرف (S, N, P, K, Mg, Ca) و همین‌طور مولیسدون و بُر محدود می‌شود. برعکس قابلیت استفاده عناصر کم‌مصرف (Cu, Zn, Mn, Fe) و کبالت در pH پایین خاک در حد مستمیت برای گیاهان عالی / و یا ریزجانداران خاک افزایش خواهد یافت.

در خاک‌های قلیایی ضعیف و متوسط مولیسدون و تمام عناصر پرمصرف (به‌استثنای فسفر) در حد فراوان قابل استفاده می‌باشند اما میزان Cu, Mn, Fe و کبالت قابل استفاده چنان پایین است که رشد گیاه دچار محدودیت می‌شود. قابلیت استفاده فسفر و بُر در خاک‌های قلیایی نیز معمولاً در حد ایجاد کمبود برای نباتات کاهش می‌یابد.

^۱ - Rhizosphere

جمع‌بندی روابط بین عناصر غذایی و pH مشکل است، هرچند از شکل ۹-۱۸ به‌نظر می‌رسد که دامنه pH ۵/۵ تا ۶/۵ و شاید ۷ مناسب‌ترین سطوح عناصر غذایی گیاهی را به‌طور کلی فراهم می‌کند. هرچند این جمع‌بندی برای تمام خاک‌ها و ترکیبات گیاهی ممکن است معتبر نباشد. برای نمونه کمبود بعضی از عناصر کم‌مصرف مشخص در بعضی از خاک‌های شنی که آهک در خاک تا حد ایجاد pH ۵/۵ تا ۶ مصرف شده است، معمول می‌باشد.



شکل ۹-۱۷ غلظت بالای آلومینیوم قابل‌تبادل و یا محلول خاک در خاک‌های اسیدی برای ریشه گیاهان سنی می‌باشد. سستی که می‌تواند با مصرف CaSO_4 تا حدی کاهش یابد. (الف) طول ریشه پنبه با افزایش pH خاک و کاهش آلومینیوم قابل‌تبادل افزایش یافت (ب) اضافه‌کردن CaSO_4 به یک محلول غذایی (pH = ۲) فعالیت Al^{3+} را کاهش داده و امکان افزایش در طول ریشه لوبیا روغنی را درحالی‌که کمترین تأثیر را بر pH محلول خاک دارد، فراهم می‌کند.

شکل ۹-۱۸ مطرح می‌کند که باکتری‌ها و اکتینومیست‌های خیلی معمول در pH متوسط و بالا به نحوی مطلوب ایفای نقش می‌کنند. به‌نظر می‌رسد قارچ‌ها که بسیار سازگار بوده و در یک دامنه وسیعی از pH رشد رضایت‌بخشی دارند. بنابراین فعالیت قارچ‌ها در اکثر خاک‌های اسیدی غالب می‌باشد، درحالی‌که در pH متوسط و بالاتر آن‌ها با رقابت شدید اکتینومیست‌ها و باکتری‌ها مواجه می‌باشند.

گیاهان عالی و pH

گیاهان از نظر مقاومت به شرایط اسیدی و / یا قلیایی بسیار متفاوتند (شکل ۹-۱۹ را مشاهده کنید). برای مثال نباتات تیره‌ی حبوبات علوفه‌ای مانند یونجه و شبدر در خاک‌های حدود خنثی و یا قلیایی بهترین رشد را دارند، و باید در اکثر خاک‌های معدنی مناطق مرطوب برای رشد مطلوب این محصولات آهک مصرف گردد.

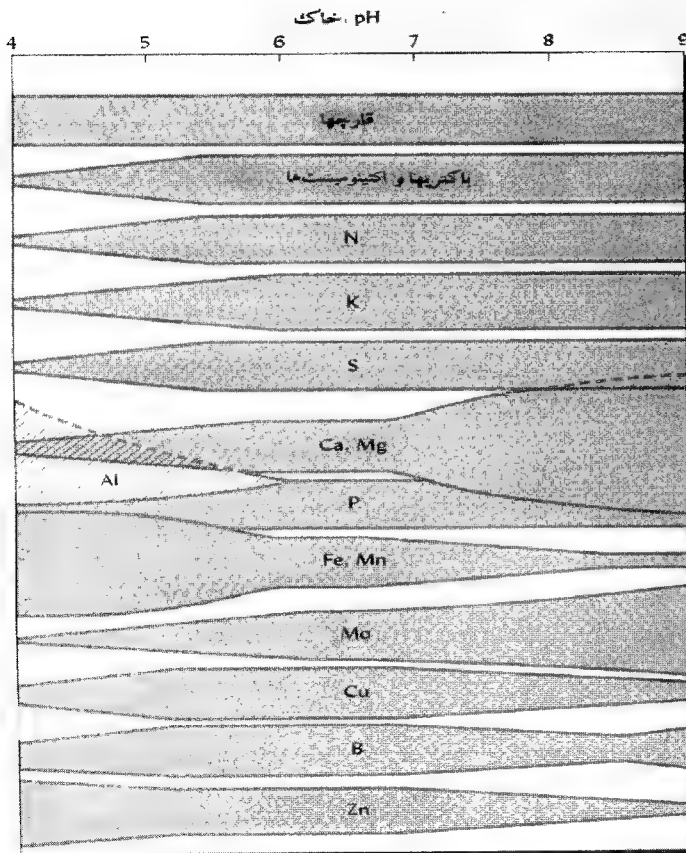
رودودندرون^۱ و ازالیا^۲ دریک انتهایی مقیاس قرار دارند آن‌ها ظاهراً نیازمند مقدار قابل‌ملاحظه‌ای آهن می‌باشند که فقط به‌مقدار فراوان در pH پایین وجود دارند. اگر pH و درصد اشباع بازی به‌اندازه کافی پایین نباشند این نباتات کلروز (زردشدن برگ‌ها) و سایر علائم مشخصه کمبود آهن را نشان می‌دهند (شکل ۸-۱۵ را مشاهده کنید).

بسیاری از درختان جنگلی در دامنه‌ی گسترده‌ای از pH به خوبی رشد می‌کنند و این بیانگر آن است که آن‌ها دارای مقداری مقاومت به اسیدیته‌ی خاک می‌باشند. این مسأله قابل‌انتظار است، زیرا درختان جنگلی (به‌خصوص سوزنی‌برگان) معمولاً سبب افزایش اسیدیته می‌شوند، و جنگل‌هایی در مناطق مرطوب وجود دارند که در آن‌جا خاک‌های اسیدی معمول می‌باشند، اختلافات چندینی بین گونه‌های درختی از نظر مقاومت آن‌ها به اسیدیته‌ی بالا و آلومینیوم وجود دارد. برای مثال، کاج‌ها معمولاً به خاک‌های خیلی اسیدی بسیار مقاوم می‌باشند. کاج نوئل مقاومت کمتری داشته اما مقاومت آن‌ها بیشتر از اکثر سخت‌چوب‌ها (افرا، بلوط و راش) می‌باشد. نارون، تبریزی، لیلکی و لوکانا^۳ به‌خاطر مقاومت کم خود درمقایسه با اکثر گونه‌های جنگلی به خاک‌های اسیدی، مشهور می‌باشند. گیاهانی که در خاک‌های خیلی اسیدی (pH < ۵) رشد ضعیفی دارند معمولاً در معرض سمیت آلومینیوم قرار گرفته‌اند که باعث می‌شود ریشه درختان کوتاه، ضخیم و زیر باشد.

^۱ - Rhododendron

^۲ - Azalia

^۳ - Locaena



شکل ۹-۱۸ روابط موجود در خاک‌های معدنی بین pH محلول خاک از یک‌طرف و فعالیت ریزجاندانان خاک و قابلیت استفاده عناصر غذایی از طرف دیگر، بخش عریض نوار بیانگر مناطقی با بیشترین فعالیت میکروبی و قابلیت استفاده آسان عناصر غذایی می‌باشد. وقتی همبستگی‌ها به‌طور کلی مدّ نظر قرار گیرند قابلیت استفاده عناصر به بهترین وجه در دامنه pH ۵-۷ ممکن می‌شود. خلاصه اگر pH خاک به‌طور مناسب برای فسفر تنظیم گردد، سایر عناصر غذایی اگر در مقدار کافی وجود داشته باشند، به‌طور رضایت بخش در اکثر موارد قابل استفاده خواهند بود.

خاک‌های زراعی بالاترین توان تولید، که امروزه مورد استفاده می‌باشند دارای pH متوسط یعنی نه‌خیلی اسیدی و نه‌خیلی قلیایی هستند بیشتر محصولات زراعی در این خاک‌ها رشد خوبی دارند.

از آن‌جاکه گیاهان چمنی مرتعی، بسیاری از گیاهان تیره بقولات، غلات دانه‌ریز، گیاهان مزرع‌ای ردیفی و تعداد زیادی از سبزی‌ها در این گروه خیلی گسترده گیاهان مقاوم قرار دارند، اسیدیته و قلیائیت ضعیف خاک محدودکننده رشد آن‌ها نیست. در قالب pH شاید دامنه ۵/۵ تا ۷ برای اکثر محصولات بیشترین تناسب را داشته باشد.

pH خاک و کیفیت زیست محیطی

مثال‌های بسیاری درمورد تأثیر PH خاک بر کیفیت محیط زیست وجود دارد اما نمونه‌ای از آن اثر pH بر آلودگی آب زیرزمینی به‌وسیله‌ی علف‌کش‌ها ذکر می‌شود. گروه‌های شیمیایی مانند NH_2^- و COO^- موجود بر روی مولکول بعضی علف‌کش‌ها، واکنش با کلویید را تقویت می‌کنند. این واکنش‌ها ممکن است مولکول علف‌کش را با ماده‌ی آلی و یا رس خاک پیوند داده و یا در بار سطحی، و در نتیجه توانایی آن برای تبادل با آنیون‌ها و یا جذب به‌وسیله‌ی کلویید خاک تأثیر بگذارد.

مثالی از این نوع جذب، آترازین^۱ است علف‌کشی که در مزارع ذرت به‌طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. اگر خاک کاملاً اسیدی باشد (pH کمتر از ۵/۷)، مولکول آترازین یک پروتون (پن H^+) جذب کرده مولکول علف‌کش دارای بار مثبت می‌شود. فرایندی که پروتونی شدن^۲ نام دارد. مولکول با بار مثبت آن‌گاه جذب کلوییدهای دارای بار منفی می‌شود. در این شرایط آترازین به‌وسیله‌ی کلویید خاک تا تجزیه آن به‌وسیله‌ی ریزجاندانان خاک نگهداری شده و بعید به‌نظر می‌رسد به‌طرف پایین و به‌داخل آب زیرزمینی حرکت کند. در مقادیر pH بالای ۵/۷ جذب به‌شدت کاهش یافته و تمایل علف‌کش برای حرکت روبه‌پایین در داخل خاک و رسیدن به آب زیرزمینی افزایش می‌یابد. جذب کلوییدی آترازین در خاک‌های اسیدی قابلیت استفاده آن‌را برای جذب ریشه‌های علف هرز کم کرده و مؤثر بودن آن‌را به عنوان علف‌کش کاهش می‌دهد.

^۱ - Atrazine

^۲ - Protonation

pH خاک				نباتات	
۷+	۶	۵	۴	درختان	گیاهان
خاک‌های با اسیدیته کم و کمی قلیایی	خاک‌های با اسیدیته متوسط	خاک‌های اسیدی و خیلی اسیدی		گردو نوسکا اکالیپتوس ارپورویت	Alfalfa Sweet Clover Asparagus Buffalo grass Wheat grass
				تمشک افرا ممرز تبریزی درخت لاله توسکا یاس بنفش یاس زرد لورکانا	Garden beet Sugar beet Cauliflower Lettuce Cantaloupe
				فیلیبرت آرس مورد نارون زردآلوی	Spinach Red clover Peas Cabbage Kentucky grass White clover Carrots
				غان ذغال اخته نراد ماگنولیا بلوط سدر لبنان شوکران سرو گیلاس برگ بو اندرومدا بلوط یید بلوط کاجی نولل قرمز لیلکی	Cotton Timothy Barley Wheat Fescue(tall) Corn Soy bean Oat Alfalfa clover Crimson clover Rice Bermuda grass Tomato Vetch Millet Cowpea Lupedza Tobacco Rye Buck wheat
				راج آمریکایی کیبوه نولل سفید کاج سفید اسکاتلند کاج لابلایی اناقیا	Red top Potato Bent grass Fescue Wheat grass
				زیتون پاییز توت آبی توت حواصیل آزالیا رودودندرون چای شوکران بلوط پلک جک سماق غان قهوه	Poverty grass Eastern game grass Love grass Red top grass Cassava Napir grass

شکل ۱۹-۹ رابطه‌ی گیاهان عالی به شرایط فیزیولوژیکی ارائه شده به وسیله‌ی خاک‌های معدنی با واکنش‌های مختلف. توجه کنید همبستگی بسیار گسترده بوده و براساس دامنه‌ی تغییرات pH است. میزان حاصلخیزی در رابطه‌ی واقعی در هر حالت خاص بسیار مؤثر است. این جدول از نظر تصمیم‌گیری در مورد افزودن مواد شیمیایی مانند آهک و یا گوگرد برای تغییر pH بسیار ارزشمند می‌باشد.

۸-۹ تعیین pH خاک

آزمایش pH خاک به طور مرتب انجام گرفته و تعیین آن آسان و سریع است. نمونه‌های خاک از مزرعه برداشت شده و pH آن یا مستقیماً اندازه‌گیری می‌شود و یا نمونه‌ها را برای تعیین pH دقیق‌تر به آزمایشگاه می‌برند.

روش پتانسیل متری

درست‌ترین روش تعیین pH خاک به وسیله‌ی یک pH متر است (شکل ۲۰-۹). در این روش یک الکترود سنجش گر شیشه‌ای (همراه با یک الکترود کالومل استاندارد مرجع) در داخل مخلوط آب و خاک، که محلول خاک را شیبه‌سازی می‌کند وارد می‌شود. اختلاف بین فعالیت یون‌های هیدروژن در خاک مرطوب و الکترود شیشه‌ای سبب ایجاد یک اختلاف پتانسیل الکترومتری می‌گردد که در ارتباط با pH محلول خاک می‌باشد. این وسیله نتایج با ثباتی را ارائه داده و کار با آن ساده است.

بیشتر آزمایشگاه‌های تجزیه خاک در آمریکا pH محلول تعلیقی خاک در آب (معمولاً نسبت ۱:۱ و یا ۱:۲) را اندازه می‌گیرند. متأسفانه آب محلول خاک را رقیق کرده و سبب می‌شود مقادیر pH در حد ۰/۲ تا ۰/۴ واحد بیشتر از محلول رقیق نشده‌ی خاک نشان داده شود. این تمایل با استفاده از کلرور کلسیم ۰/۰۱ مولار غیربافر کاهش می‌یابد. کلرور کلسیم همچنین سبب می‌شود که اثرات اختلاف در غلظت الکترولیت، که حاصل تراکم نمک و یا استفاده از کودهای شیمیایی در خاک است، به حداقل برسد.

روش رنگ‌سنجی

روش رنگ‌سنجی از این واقعیت بهره می‌برد که ترکیبات آلی خاص با افزایش یا کاهش اسیدیته تغییر رنگ می‌دهند. مخلوط این معرف‌های رنگی تغییرات قابل ملاحظه رنگ خاک را در یک دامنه‌ی وسیع pH خاک (۳-۸) فراهم می‌کند. چند قطره از محلول معرف رنگی در تماس با خاک قرار می‌گیرد (معمولاً در یک ظرف با سطح سفید) (شکل ۲۰-۹) را مشاهده کنید) پس از چند دقیقه رنگ معرف با یک صفحه شامل رنگ‌های معیار که pH تقریبی را مشخص می‌سازد، مقایسه می‌گردد.

در سایر روش‌های رنگ‌سنجی نوارهای متخلخل کاغذ با رنگ اغشته می‌شود. وقتی این کاغذ رنگی با مخلوط آب و خاک در تماس قرار گیرد کاغذ آب را جذب کرده، و تغییر رنگ کاغذ مشخص‌کننده pH است دقت این روش رنگ‌سنجی ۰/۲ تا ۰/۵ واحد pH است.



شکل ۲۰-۹ (چپ) pH خاک در آزمایشگاه با استفاده از یک pH متر الکترومتری با سرعت و به طور ارزان اندازه‌گیری می‌شود. صدها تجزیه می‌تواند در یک روز انجام شود. (راست) در مزرعه از این واقعیت استفاده شده است که رنگ‌های حساس به pH سایه‌های از رنگ را ارائه می‌کنند که می‌تواند با صفحه‌ای شامل رنگ‌های استاندارد واسنجی شوند. این روش یک وسیله آسان و ارزان را برای اندازه‌گیری pH ارائه می‌دهد. گرچه روش رنگ‌سنجی کاملاً به صحت روش الکترومتری نیست، برای اکثر اهداف مدیریتی مزرعه کاملاً رضایت‌بخش می‌باشد.

محدودیت اعداد pH

اطلاعات بسیار زیادی را در ارتباط با شرایط شیمیایی و زیستی در یک خاک با استفاده از مقادیر pH در مقایسه با هر اندازه‌گیری تنهای دیگر می‌توان استنتاج نمود. هرچند تعبیر این اندازه‌گیری‌ها در مزرعه باید با احتیاط انجام گیرد. تغییرات زیادی در pH از یک نقطه تا نقطه‌ی دیگر در مزرعه وجود دارد. احتیاط لازم را برای به حداقل رساندن خطاهای نمونه‌برداری باید به عمل آورد (فصل ۱۸-۱۶ را مشاهده کنید). اثرات محلی مصرف کودهای شیمیایی ممکن است تغییرات قابل ملاحظه‌ای در pH خاک در فاصله چند سانتی‌متری ایجاد کند. برای خاک‌های شخم‌نخورده مانند آن‌هایی که نظام خاک‌ورزی صفر^۱ اعمال می‌شود، فرایندهای متعدد تشکیل‌دهنده اسید در سطح و یا نزدیکی سطح خاک تمرکز یافته است، که آزمون از اعماق مختلف خاک را مطلوب می‌سازد، در غیراین صورت اسیدیته شدید در چند سانتی‌متر فوقانی ممکن است قابل ردیابی نباشد.

۹-۹ روش‌های تشدید اسیدیته خاک

کاهش pH خاک‌های خیلی قلیایی در اکثر موارد مطلوب است. به علاوه گیاهان اسیددوست نمی‌توانند مقادیر متوسط تا زیاد pH خاک را تحمل کنند. در میان آن‌ها، گونه‌های زیتی پرارزشی وجود دارند که محبوب‌ترین نوع برای پرورش‌دهندگان گل در سرتاسر دنیا می‌باشند. برای مثال، رودندرون و ازالیا بهترین رشد خود را در خاک‌های با pH ۵ و کمتر دارا می‌باشند. برای ایجاد سازگاری در این گیاهان بعضی مواقع لازم است که اسیدیته را حتی در خاک‌های اسیدی نیز افزایش داد. این کار با افزایش مواد آلی و معدنی تولیدکننده اسید در خاک انجام می‌پذیرد.

مواد آلی اسیدی

با تجزیه‌ی مواد آلی اسیدهای آلی و معدنی تشکیل می‌شوند، که می‌توانند pH خاک را اگر ماده‌ی آلی دارای کاتیون‌های بازی کمی باشد کاهش دهند. خاک برگ، برگ‌های سوزنی کاج‌ها، پوست درخت، خاک‌اره کاج و پیت اسیدی خزه‌دار^۲ مواد آلی مطلوبی می‌باشند که می‌توان از آن‌ها در پرورش گل‌های زیتی استفاده کرد. کود دامی، به‌خصوص کود مرغی و خاک برگ درختان دارای عناصر بازی مانند مرمر و توسکا ممکن است قلیایی بوده و عملاً pH خاک را افزایش دهد.

مواد معدنی

وقتی افزودن ماده‌ی آلی اسیدی عملی نیست، ممکن است مواد شیمیایی معدنی مورد استفاده قرار گیرند. برای رودندرون و ازالیا و سایر درختان که نیازمند آهن قابل ملاحظه‌ای می‌باشند (مانند توت‌فرنگی آبی^۳ و توت‌فرنگی درنا^۴) سولفات‌های آهن دوزفرتیسی (FeSO₄) در بعضی مواقع پیشنهاد می‌شود. این مواد شیمیایی آهن قابل استفاده (Fe²⁺) برای گیاه ارائه نموده و در اثر آبکافت سبب بالا رفتن اسیدیته با واکنش‌هایی مانند زیر می‌شوند:



این H⁺ آزاد شده سبب کاهش موضعی pH شده و بعضی از آهن‌های موجود در خاک را آزاد می‌کند. سولفات آهن دو منظوره عمل می‌کند، اول آهن قابل استفاده را مستقیماً عرضه نموده و دوم، با کاهش pH خاک می‌تواند آهن تثبیت‌شده‌ی موجود در خاک را آزاد کند. سایر مواد که معمولاً برای افزایش اسیدیته خاک به کار می‌روند، گوگرد عنصری و در بعضی از نظام‌های آبیاری اسیدسولفوریک می‌باشند. گوگرد معمولاً تحت اکسایش سریع میکروبی در خاک قرار گرفته (فصل ۲۱-۱۳ را مشاهده کنید) و اسید سولفوریک ایجاد می‌شود.



¹- Zero tillage

²- Acid moss peat

³- Blue berries

⁴- Cran berries

تحت شرایط مطلوب، گوگرد ۴ تا ۵ بار مؤثرتر از سولفات فرو در ایجاد اسیدیته می‌باشد. هرچند سولفات فرو سبب واکنش سریع نبات می‌شود. گوگرد ارزان‌تر بوده و به آسانی به‌دست می‌آید و معمولاً مصارف دیگری نیز دارد مقادیر سولفات فرو و گوگرد که باید به‌کار روند در ارتباط با ظرفیت بافری خاک و pH اولیه آن می‌باشد.

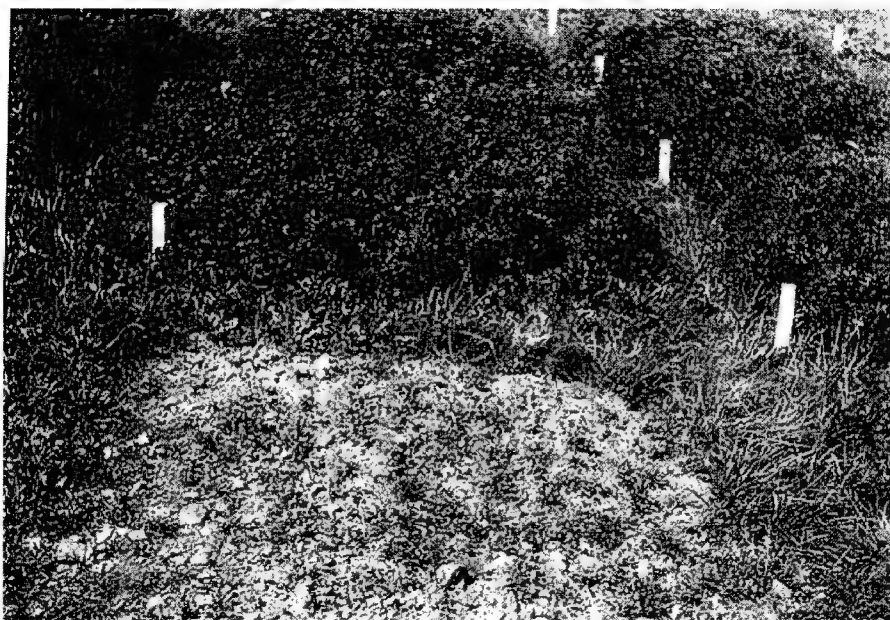
کنترل امراض گیاهی: عوامل بیماری‌زای ناشی از خاک معمولاً به اسیدیته‌ی خاک که مصرف گوگرد عامل تقویت آن است، حساس می‌باشند. برای نمونه گال ۱ سیب‌زمینی که به‌وسیله‌ی یک اکتینومیست به‌وجود می‌آید به سطح غده‌ی سیب‌زمینی حمله می‌کند و ظاهری بی‌رنگ ناهموار را به‌جای می‌گذارد که سبب از بین رفتن بازارپسندی سیب‌زمینی می‌شود. وقتی گوگرد برای پایین آوردن pH خاک به حدود ۵/۳ و یا کمتر اضافه می‌گردد، بیماری‌زایی اکتینومیست بسیار کاهش می‌یابد. هرچند مصرف گوگرد به‌منظور افزایش اسیدیته در مدیریت اراضی به‌خصوص تناوب زراعی، تأثیر می‌گذارد. در انتخاب محصولات متعاقب که تحت تأثیر منفی اسیدیته‌ی پایین قرار می‌گیرند باید ملاحظات لازم را معمول نمود.

۹-۱۰ کاهش اسیدیته‌ی خاک: مواد آهک‌دهی

اسیدیته‌ی خاک معمولاً با افزودن ترکیبات کربنات‌ها، اکسیدها و هیدراکسیدهای کلسیم و منیزیم که به آن‌ها آهک‌های کشاورزی می‌گویند کاهش می‌یابد. همچنین خاکستر چوب به‌طور موضعی برای کاهش اسیدیته به‌کار می‌رود. وقتی خاک خیلی اسیدی باشد رشد محصول به‌طور چشم‌گیری با آهک‌دادن خاک بهبود خواهد یافت (شکل ۲۱-۹).

انواع کربنات‌ها

منابع کربناتی آهک شامل مارل، صدف خوراکی، لجن آهکی^۱، و کربنات‌های ته‌نشین شده می‌باشند، اما سنگ‌آهک آسیاب‌شده معمول‌ترین آن‌ها بوده و از تمام مواد آهکی دیگر بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. دو کانی مهم که در سنگ آهک‌ها وجود دارند عبارتند از کلسیت، که عمدتاً کربنات کلسیم بوده (CaCO_3) و دولومیت که عمدتاً کربنات مضاعف کلسیم و منیزیم می‌باشد $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$. این کانی‌ها به نسبت‌های متفاوت در سنگ آهک وجود دارند. وقتی دولومیت وجود نداشته و یا اندک باشد، به سنگ آهک، آهک کلسیتی اطلاق گردد و با افزایش منیزیم، به آن آهک دولومیتی گفته می‌شود.



شکل ۲۱-۹ یونجه در خاک‌های اسیدی رشد نمی‌کند (بخش جلویی عکس) اما با دادن آهک به‌خوبی واکنش نشان می‌دهد (قسمت عقبی عکس).

^۱ - Potato scab

^۲ - Basic slag

انواع اکسیدها و هیدراکسیدها

دو شکل دیگر آهک برای مصارف جزئی مانند باغچه‌های خانگی که ممکن است یک تغییر خیلی سریع در pH خاک مورد نیاز باشد، از اهمیت خاص برخوردارند. یکی از این دو نوع اکسید کلسیم (CaO) است که بعضی مواقع به آن آهک سوخته^۱ و یا آهک سریع^۲ گفته می‌شود؛ نوع دیگر هیدراکسید کلسیم Ca(OH)_2 است که بعضی مواقع به آن آب آهک (آهک هیدراته^۳) گفته می‌شود. کاربرد این دو نوع پردردستر از آهک معمولی بوده و نیز گران‌تر می‌باشند. اما هنگامی که تنظیم سریع آهک خاک مورد نیاز است آن‌ها همچنان بازار خود را خواهند داشت. تابلو ۲-۹ چگونگی تهیه آن‌ها را نشان داده و بعضی از خصوصیات آن‌ها را مشخص می‌کند.

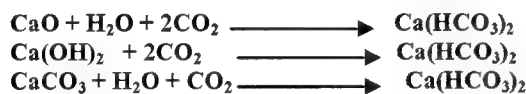
آهک‌های دولومیتی و اکسیدها و هیدراکسیدهای ساخته شده از آن‌ها هم کلسیم و هم منیزیم را در نظام خاک - نبات تهیه می‌کنند. در مواقعی که منیزیم قابل استفاده خاک اندک است، دولومیت و یا آهک دولومیتی محصولی است که باید انتخاب گردد. وقتی منیزیم کافی وجود دارد، برای جلوگیری از تراکم اضافی منیزیم و از بین رفتن اثرات مثبت آهک بر خصوصیات فیزیکی خاک (فصل ۷-۴ را مشاهده کنید) آهک کلسیمی باید مصرف گردد. از توانایی عرضی عناصر غذایی به وسیله تمام مواد آهکی نباید چشم‌پوشی کرد. ممکن است در خاک‌های بسیار هوازده مقادیر اندک آهک درمقایسه با تغییر pH، به علت ارتقاء تغذیه کلسیم و منیزیم بیشتر سبب بهبود محصول گردد.

۹-۱۱ واکنش‌های آهک در خاک

هنگامی که ترکیبات کلسیم و منیزیم در خاک‌های اسیدی مصرف گردند، با گازکربنیک و یا همتافت اسیدی وارد واکنش می‌شوند، این واکنش‌ها به ترتیب مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

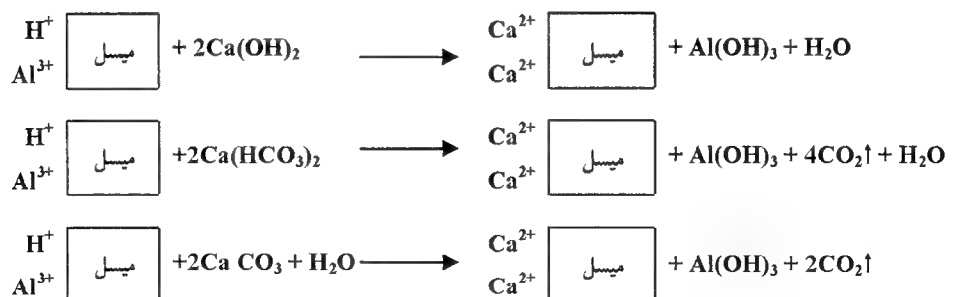
واکنش با گازکربنیک

تمام مواد آهکی، چه اکسیدها، هیدراکسیدها و یا کربنات‌ها هنگامی که در یک خاک اسیدی مصرف شوند با گازکربنیک و آب وارد واکنش شده و بی کربنات تشکیل می‌دهند. فشار جزئی گازکربنیک، که در هوای خاک معمولاً چند صد برابر این فشار در هوای نیوار می‌باشد، چنان زیاد است که می‌تواند این واکنش‌ها را به سمت راست ببرد:



واکنش با کلویدهای خاک

این مواد آهکی مستقیماً با خاک‌های اسیدی وارد واکنش می‌گردند، کلسیم و منیزیم جایگزین هیدروژن و آلومینیوم در روی همتافت کلوییدی می‌شوند. جذب در ارتباط با کلسیم با فرض جایگزینی یون‌های هیدروژن ممکن است به شرح زیر انجام می‌شود



عدم انحلال Al(OH)_3 و آزاد شدن گازکربنیک به نیوار سبب راندن این واکنش به سمت راست می‌شود. به علاوه جذب یون‌های کلسیم و منیزیم سبب بالارفتن درصد اشباع بازی همتافت کلوییدی می‌شود و pH محلول خاک در ارتباط با آن افزایش می‌یابد.

^۱ -Burned lime^۲ -Quick lime^۳ -Hydrated lime

تابلو ۲-۹ ساخت و استفاده از مواد آهکی

سنگ آهک: در دوران‌های پیشین زمین‌شناسی، کربنات‌های کلسیم و منیزیم در کف دریاچه‌ها و دریا‌های قدیم ته‌نشین شده و بر اثر فشار لایه‌های بالایی، کربنات‌ها به لایه‌های سنگ آهک تبدیل شدند. امروزه آن‌ها خرد گردیده، خیلی ریز آسیاب شده و برای استعمال در خاک‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. کلسیت (CaCO_3) و دولومیت [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$] کانی‌های موجود در سنگ آهک می‌باشند. آن‌ها کم‌هزینه‌ترین وسیله را برای مقابله با اسیدیته‌ی خاک فراهم نموده، معمولاً در حجم‌های بزرگ انبار شده، به وسیله‌ی بارکش‌ها در مزرعه استعمال می‌گردند.

اکسید آهک: آهک سوخته: اکسید آهک با حرارت‌دادن سنگ آهک در حدود ۸۵۰ درجه‌ی سانتیگراد و جداکردن گاز کربنیک در طی واکنش‌هایی مانند زیر تولید می‌شود:

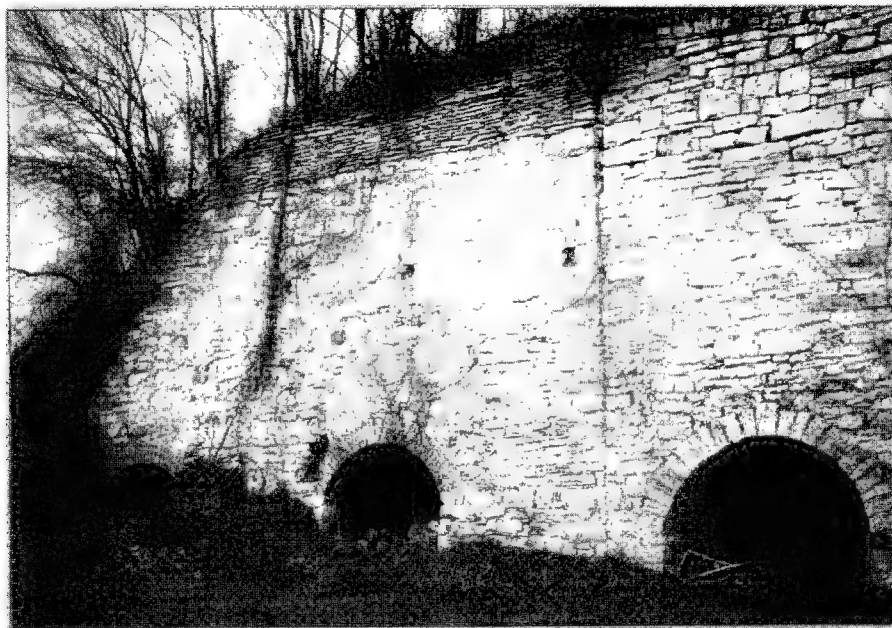


کارکردن با اکسید آهک مشکل بوده و معمولاً در کیسه‌های ضد آب نگهداری می‌شوند، بسیار گران‌تر از آهک بوده اما با سرعت بسیار وارد واکنش با خاک گردیده و پس از مصرف، pH بالایی حاصل می‌شود.

هیدراکسید آهک: آب آهک: با اضافه کردن آب گرم به اکسید آهک هیدراکسید آهک [$\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Mg}(\text{OH})_2$] تشکیل می‌شود



هیدراکسید آهک گرد سفید رنگی بوده و کارکردن با آن مشکل‌تر از آهک سوخته می‌باشد. این نوع نه فقط به خاطر سلامت استفاده‌کننده بلکه به خاطر حفظ آن از برگشت و تبدیل به $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ بر اثر واکنش با گاز کربنیک نیوار باید در کیسه نگهداری شود. این نوع گرچه گران‌تر از آهک است، اما خیلی سریع با خاک وارد واکنش می‌شود: استفاده از هر دو هیدراکسید و اکسید آهک عمدتاً محدود به باغچه‌های خانگی و محصولات خاص است.

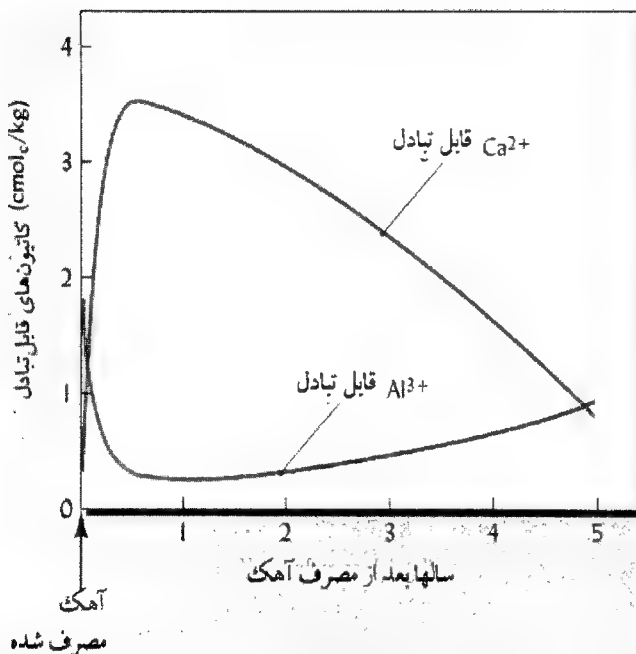


عکس: خرابه‌های یک کوره آهک‌پزی در قرن ۱۹ در ایالت مریلند که برای تبدیل سنگ آهک به آهک سوخته و سپس به آب آهک مورد استفاده بوده است.

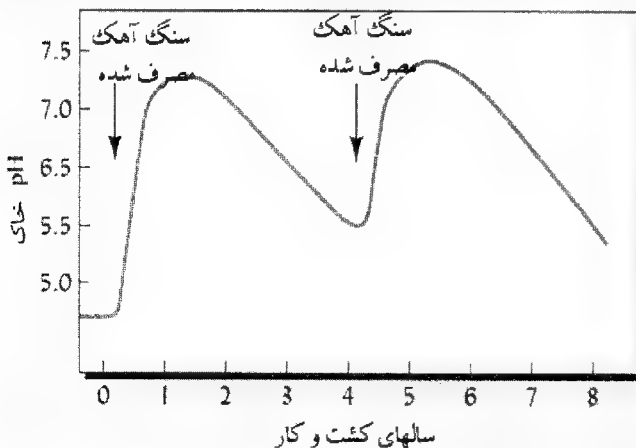
تخلیه کلسیم و منیزیم

با برداشت ترکیبات کلسیم و منیزیم محلول به وسیله گیاهان در حال رشد و یا آبشویی آنها، درصد اشباع بازی و pH خاک به تدریج کاهش یافته، نهایتاً مصرف آهک بار دیگر ضرورت پیدا می‌کند. این نوع فعالیت دوره‌ای شامل اکثر کلسیم و منیزیم اضافه شده به خاک‌های زراعی در مناطق مرطوب می‌گردد (شکل ۲۲-۹ را مشاهده کنید).

نیاز به استعمال دوباره آهک در مناطق مرطوب بیانگر هدررفت قابل توجه کلسیم و منیزیم در خاک می‌باشد. جدول ۱-۹ هدررفت‌های این عناصر را بر اثر آبشویی در مقایسه با برداشت نباتات و فرسایش خاک نشان می‌دهد. توجه کنید که هدررفت کلی از هر سه منبع اتلاف (آبشویی، فرسایش و برداشت محصولات) در خاک‌های کشاورزی مناطق مرطوب، به صورت کربنات، به حدود یک مگاگرم (۱ تن) در هکتار در سال می‌رسد. همین‌طور روش‌های قطع درختان که سبب در معرض قرار گرفتن خاک برای فرسایش و آبشویی عناصر غذایی می‌گردد، سبب هدررفت سریع کلسیم و منیزیم از بوم‌سامان جنگلی می‌شود.



شکل ۲۲-۹ نموداری که تشریح می‌کند چرا استعمال مجدد سنگ آهک برای حفظ تعادل شیمیایی مناسب در خاک لازم می‌باشد (بالا). وقتی در خاکی آهک داده می‌شود کلسیم قابل‌تبادل افزایش یافته و آلومینیوم قابل‌تبادل همان‌طور که نمودار داده‌ها از یک اکسی‌سول در برزیل نشان می‌دهد، کاهش می‌یابد. در طول چند سال موقعیت برعکس می‌شود، کلسیم کاهش یافته و آلومینیوم افزایش می‌یابد. (پایین) pH خاک به همین ترتیب پس از اضافه کردن ۴-۶ مگاگرم آهک به یک خاک منطقه معتدل افزایش می‌یابد. pH پس از یک سال به اوج منحنی می‌رسد. آبشویی و برداشت کلسیم و منیزیم به وسیله زراعت‌ها آن‌ها را تخلیه کرده و در طی زمان pH کاهش یافته تا این‌که مصرف دوباره آهک لازم باشد.



جدول ۹-۱ هدررفت در یک خاک بر اثر فرسایش، برداشت محصول و آبیاری در منطقه‌ی مرطوب معتدل.

مقادیر بر حسب کیلوگرم در هکتار در سال می‌باشد.

شيوه‌ی برداشت		کلسيم بر حسب		مميزيم بر حسب	
		CaCO ₃	Ca	MgCO ₃	Mg
برائړ فرسایش آزمایش‌های میسوری در ۴ درصد شیب به‌وسیله‌ی محصول متوسط در یک تناوب استاندارد		۲۳۸	۹۵	۱۱۵	۳۳
		۱۲۵	۵۰	۸۸	۲۵
		۲۸۸	۱۱۵	۸۸	۲۵
برائړ آبشویی از یک لوم سیلتی معرف		۶۵۱		۲۹۱	
جمع از اراضی کشاورزی					
هدررفت در رودخانه‌هایی که حوزه‌ی آب‌خیز کاج داگلاس را زه‌کشی می‌کنند کف‌تراشی و سوزاندن پس‌ماندها جنگل دست‌نخورده					
		۲۰۳	۸۱	۹۱	۲۶
		۶۵	۲۶	۲۸	۸

۹-۱۲ میزان آهک: مقادیر مورد نیاز

میزان مواد آهکی لازم برای ایجاد pH موردنظر به‌وسیله‌ی عوامل چندی تعیین می‌شود، که شامل (۱) مقدار تغییر لازم در pH (۲) ظرفیت بافری خاک (۳) ترکیب شیمیایی مواد آهکی مورد مصرف (۴) ریزبودن مواد آهکی می‌باشد.

دامنه pH بهینه برای نباتات مختلف که در فصل ۷-۹ مطرح گردید، میزان افزایش مورد نظر را مشخص می‌کند. روشن است که pH بالاتری برای یونجه درمقایسه با ذرت و لوبیاریوغنی مورد نیاز می‌باشد. در فصل ۴-۹، اختلافات در ظرفیت بافری خاک‌ها تشریح گردید. رابطه ظرفیت بافری با میزان آهک مورد نیاز خاک‌ها دارای بافت متفاوت در شکل ۲۳-۹ نشان داده شده است. به‌دلیل ظرفیت بافری بالا، میزان آهک مورد نیاز یک رس بافت ریز بسیار بالاتر از یک خاک شنی و یا لوم با همان pH است.

ظرفیت بافری و نیاز آهک

خاک‌ها در یک منطقه با خصوصیات شیمیایی مشابه یک رابطه نسبتاً معمول را بین pH و اشباع بازی به نمایش می‌گذارند (شکل ۸-۹). با دانستن pH یک خاک آهک داده نشده، ظرفیت تبادل کاتیونی و pH مورد نظر برای نبات مورد کشت، استفاده از این رابطه برای تعیین مقدار تقریبی مواد اصلاح‌کننده آهکی امکان‌پذیر است. تابلو ۳-۹ چگونگی تعیین میزان آهک را تشریح می‌کند.

روش دیگر برای تعیین میزان آهک مورد نیاز، که به‌طوربسیار گسترده مورد استفاده قرارگرفته است به تعادل رساندن یک نمونه از خاک با یک محلول بافر است که دارای مقدار کمی از نمک‌های خنثی می‌باشد. هرچه اسیدیته کل خاک بیشتر باشد توان بافری محلول پیشتر از بین رفته و pH محلول کاهش می‌یابد. میزان کاهش در ارتباط با میزان اسیدیته‌ی آزادشده از خاک است. محلول‌های بافری مختلف برای خاک‌ها با CEC کم مانند بعضی از اولتی‌سول‌ها درمقایسه با الفی‌سول‌ها که در آن‌ها CEC مقداری بیشتر است به‌کار می‌رود (شکل ۲۴-۹).

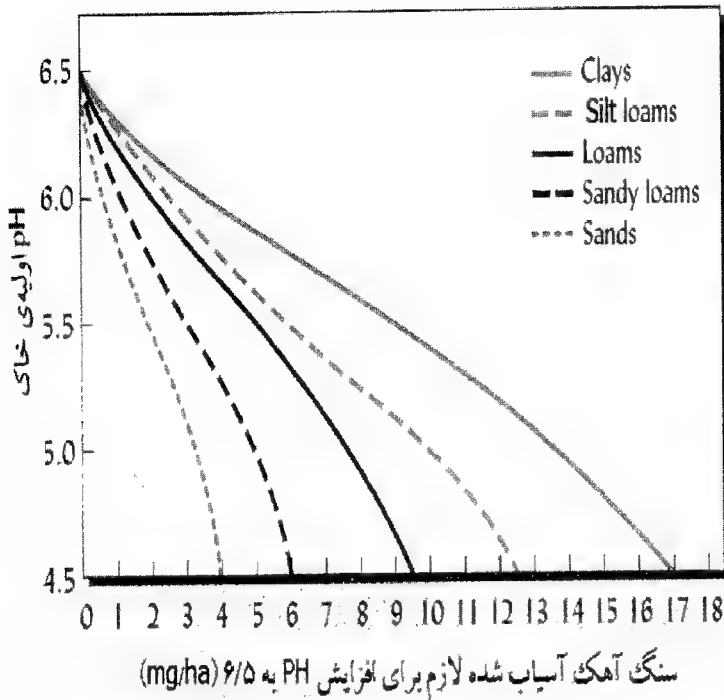
تأثیر ترکیب شیمیایی

ترکیب شیمیایی مواد آهکی اصلاح‌کننده اثرات طولانی مدت آن‌ها را بر pH خاک و مقدار مواد شیمیایی لازم از هر نوع را برای دستیابی به این اثرات، تعیین و مقدار کلسیم و منیزیم عرضه شده را مشخص می‌سازد.

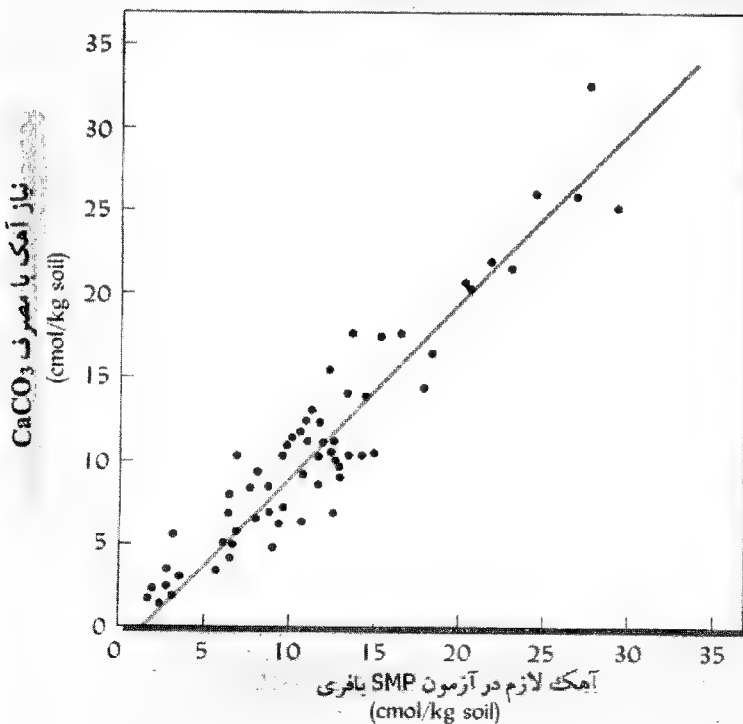
برای اطمینان از این که استفاده‌کنندگان از میزان مواد آهکی کاملاً مطلع باشند، قوانین حاکم بر فروش آن‌ها نیازمند تضمین‌هایی در مورد ترکیب شیمیایی آن‌ها است. تابلو ۴-۹ را مشاهده کنید.

ریزبودن سنگ آهک و واکنش‌پذیری آن

هرچه مواد آهکی ریزتر باشند، سریع‌تر با خاک وارد واکنش خواهند شد. اکسید و هیدراکسید آهک در بازار به‌صورت گرد وجود دارند. بنابراین ریزبودن آن‌ها همیشه مورد رضایت است اما اگر سنگ آهک به‌خوبی ریز نشده باشد، به آهستگی با خاک وارد واکنش شده و عکس‌العمل کمتری را در نبات ایجاد خواهد کرد (شکل ۲۵-۹). به این دلیل تضمین ریزبودن معمولاً برای سنگ آهک لازم است. مواد با حداقل ۵۰ درصد ذرات که از الک ۶۰ چشمه بگذرد (کمتر از ۰/۲۵ میلیمتر در قطر) برای اکثر مقاصد آهک‌دادن کاملاً رضایت‌بخش می‌باشند.



شکل ۹-۲۳ تأثیر کلاس بافت بر میزان آهک مورد نیاز برای بالا بردن pH خاک‌ها از میزان اولیه آن‌ها به pH ۶/۵. توجه کنید که برای خاک‌های بافت ریز، که دارای میزان رس و ماده‌ی آلی بیشتر و در نتیجه ظرفیت بافری بالاتری می‌باشند میزان مصرف آهک بالاتر است. این خاک‌ها مختص مناطق سرد و مرطوب بوده که در آن‌ها رس‌های ۲:۱ غالب می‌باشند. در اقلیم گرم‌سیر مانند جنوب شرقی آمریکا، که رس‌های ۱:۱ و اکسیدهای Fe و Al معمولاً غالب می‌باشند، میزان آهک مورد نظر بیشتر از نصف و یا ثلث میزان مقدار توصیه شده نیست. هر چند در تمام موارد نباید بیشتر از ۷ تا ۹ تن در هکتار در هر نوبت مصرف گردد. اگر آهک بیشتری مورد نیاز باشد مصرف بعدی باید بعد از ۲ یا ۳ سال انجام گیرد.



شکل ۹-۲۴ رابطه‌ی بین آهک مورد نیاز تعدادی از خاک‌های کانادا که با مجاور نمودن خاک‌ها با CaCO_3 در مدت ۸ هفته (محور قایم)، با آزمون نیاز آهک بافری SMP فقط به مدت حدود ۳۰ دقیقه (محور افقی) تعیین شده است. مزیت صرفه‌جویی در زمان، آزمون SMP را مطلوب ساخته است نام آزمون SMP از نویسندگان مقالات Shoemaker، Pratt و McLean گرفته شده است.

تابلو ۳-۹ محاسبه نیاز آهک اصلاحی

فرض کنید شما باید مقدار آهک مورد نیاز را برای تولید محصول گیاهان نیازمند به pH بالا، مانند مارچوبه را در یک زمین لومی که اخیراً کاملاً اسیدی بوده است (pH=۵) توصیه کنید. ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (CEC) حدود ۱۰ سانتی مول بار در کیلوگرم و شما می‌خواهید pH را به ۶/۸ برسانید. با فرض این که رابطه pH و درصد اشباع بازی همانند آن چه در شکل ۸-۹ نشان داده شده است، می‌باشد. خاک در حال حاضر دارای ۵۰ درصد اشباع بازی (BS) است و نیازمند آوردن به ۹۰ درصد اشباع (BS) برای رسیدن به pH هدف به مقدار ۶/۸ می‌باشد. چه مقدار آهک دولومیتی معادل CaCO_3 ۹۰ درصد لازم است استعمال گردد تا تغییرات لازم را در pH به وجود آورد؟

اول باید میزان کلسیم مورد نیاز خاک را بر حسب سانتی مول در کیلوگرم برای ایجاد تغییر لازم، بدانیم. از آن جاکه CEC ۱۰ سانتی مول بار در کیلوگرم است و ما نیاز به ۴۰ درصد تغییر در BS داریم بنابراین Ca^{2+} مورد نیاز عبارتست از:

$$\text{خاک } \frac{\text{Ca}}{\text{Kg}} = 4 \text{ cmol}_c \times \frac{1}{10} = 0.4 \text{ cmol}_c / \text{Kg}$$

دوم از آن جاکه کلسیم دو ظرفیت دارد ۴ cmol_c می‌تواند بر حسب گرم Ca^{2+} با ضرب کردن آن در وزن مولکولی کلسیم و تقسیم آن بر دو و سپس تقسیم عدد حاصل بر ۱۰۰ به دست آید

$$\text{خاک } \frac{\text{Ca}^{2+}}{\text{Kg}} = 0.4 \text{ cmol}_c \times \left(\frac{40}{1} \times \frac{1}{100} \right) = 0.16 \text{ g} / \text{Kg}$$

سوم، مقدار آهک مورد نیاز را برای تأمین ۰/۸ گرم کلسیم با ضرب آن در نسبت وزن کربنات کلسیم به دست می‌آوریم

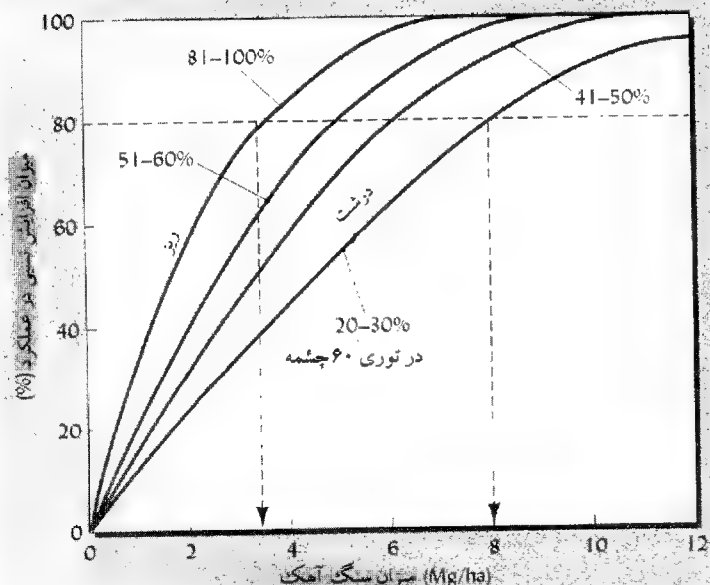
$$\text{خاک } \frac{\text{CaCO}_3}{\text{Kg}} = 0.16 \text{ g} \times \frac{100}{40} = 0.4 \text{ g} / \text{Kg}$$

چهارم برای تبدیل ۰/۴ گرم کربنات کلسیم در هر کیلوگرم خاک به جرم مورد نیاز برای تغییر pH یک هکتار خاک با عمق شخم HFS^۱ باید آن را در $10^6 / \text{HFS} \times 2/2$ کیلوگرم ضرب کنیم.

$$\frac{\text{CaCO}_3}{\text{HFS}} = 0.4 \text{ g} / \text{Kg} \times 10^6 / \text{HFS} \times 2/2 = 400 \text{ g} / \text{HFS}$$

پنجم از آن جاکه هم والانسی با CaCO_3 ، فقط ۹۰ می‌باشد ۱۰۰ کیلو MgCO_3 لازم است که به جای این ۹۰ کیلو CaCO_3 خالص عمل کند بنابراین مقدار آهک دولومیتی مورد نیاز با ضریب ۱/۰۹ تنظیم خواهد شد.

$$\frac{\text{Mg}}{\text{HFS}} = 400 / 0.9 = 444 \text{ g} / \text{HFS}$$



شکل ۲۵-۹ اثر ریزپودن آهک در واکنش نبات به مقادیر آهک اضافه شده در تعدادی آزمایش‌های صحرایی. توجه داشته باشید که برای به دست آوردن حداقل ۸۰ درصد حداکثر عملکرد (خط افقی بریده بریده) حدود ۸ تن در هکتار سنگ آهک درشت که ۲۰ تا ۳۰ ذرات آن‌ها از الک چشمه ۶۰ بگذرد لازم می‌باشد. میزان عملکرد مشابه با مصرف کمتر از ۴ تن سنگ آهک ریز (۸۱ تا ۱۰۰ درصد آن از الک چشمه ۶۰ می‌گذرد) به دست می‌آید.

^۱ - Hectar Furrow Slice

تابلو ۴-۹ تضمین شیمیایی و معادل‌ها

قوانین اجباب کرده‌اند تا ترکیب شیمیایی مواد در آهک‌دادن تضمین گردد. راه‌های تشریح این ترکیبات به‌وسیله‌ی یک مقام مسؤول با مسؤول دیگر متفاوت بوده، اما شامل تضمین‌هایی در مواد محتوی آن است که به‌وسیله‌ی یک یا چند روش زیر بیان گردد: (۱) بر حسب عناصر کلسیم و منیزیم (۲) بر حسب اکسیدهای کلسیم و منیزیم (۳) بر حسب معادل CaO (توانایی خنثی کردن تمام ترکیباتی که بر حسب CaO بیان می‌شوند) (۴) بر حسب کل کربنات‌ها $(\text{CaCO}_3\text{MgCO}_3)$ (۵) بر حسب CaCO_3 معادل (توانایی خنثی کردن تمام ترکیباتی که بر حسب CaCO_3 بیان می‌شوند).

مزایا و معایبی در هر کدام از این روش‌های تعیین مؤثر بودن مواد آهکی موجود است. هر چند تبدیل هر یک از این روش‌ها به روش دیگر با استفاده از معادل شیمیایی آسان است. به عبارت دیگر، یک اتم (و یا مولکول) CaO , MgO , CaO , Mg , Ca و یا MgCO_3 همان اسیدیته را خنثی می‌کنند. در نتیجه برای مقایسه بین مواد آهک‌دار کافی است که آن‌را در نسبت وزن مولکولی آن‌ها ضرب کنیم برای مثال برای محاسبه معادل CaCO_3 در یک آهک خالص کوره‌ی CaO ، کافی است که مقدار آن‌را در نسبت وزن مولکولی CaCO_3 به CaO ضرب کنیم.

$$\frac{\text{CaCO}_3}{\text{CaO}} = \frac{100}{56} = 1.786$$

۱- تن از آهک خالص کوره همان مقدار اسیدیته را خنثی خواهد کرد که ۱۷۸۶ کیلوگرم سنگ آهک خالص خنثی کند. با استفاده از معادل شیمیایی می‌توان روش‌های مختلف بیان توانایی آهک‌دادن چهار نوع ماده: (۱) آهک کوره (۲) آب آهک (۳) آهک دولومیت (۴) آهک کلسیت را که هر یک ۹۵ درصد خالص باشند را با هم مقایسه نمود.

روش‌های بیان ترکیب

درصد CaCO_3 معادل*	درصد کل کربنات‌ها	درصد معادل CaO	درصد اکسید مرسوم		درصد عنصر		میزان درصد مواد واقعی	مواد
			MgO	CaO	کلسیم	منیزیم		
۱۸۲/۵	-	۱۰۲/۲	{ — ۱۸	۷۷	۵۵	۱۰/۹	CaO ۷۷ MgO ۱۸	آهک کوره
۱۳۵/۸	-	۷۶		۵۸/۶	—	۴۰/۵	Ca(OH)_2 ۷۵ Mg(OH)_2 ۲۰	آب آهک
۹۵	۹۵	۵۳/۲	-	۵۳/۲	-	۳۸	CaCO_3 ۹۵	آهک کلسیتی
(۳۵)	۳۵	(۱۹/۶)	-	(۱۹/۶)	-	(۱۴)	{ CaCO_3 ۳۵ $\text{CaMg(CO}_3)_2$ ۶۰	آهک دو لومیتی
(۶۵)	۶۰	(۳۶/۴)	(۱۳/۱)	(۱۸/۲)	(۷/۹)	(۱۳)		
۱۰۰	۹۵	۵۶	۱۳/۱	۳۷/۸	۷/۹	۲۷		

* بعضی مواقع به آن توان کل خنثی شدن اطلاق می‌شود.

۱۳-۹ ملاحظات عملی

انتخاب مواد آهکی اصلاح‌کننده تحت سیطره‌ی هزینه حمل و نقل مقادیر زیاد آن‌ها از منبع اولیه است، بنابراین مقادیر مورد مصرف نباید از آن‌چه برای تأمین نیازهای خاک و زراعت لازم است بیشتر گشته و در هیچ شرایطی نباید از ۷ تا ۹ تن در هکتار بیشتر شود. در انتخاب مواد آهکی اصلاحی باید متوجه نیاز به منیزیم به عنوان یک عنصر غذایی بود و اگر مقدار منیزیم پایین باشد از دولومیت استفاده کرد.

آهک باید همراه و یا زودتر از محصولی که مطلوب‌ترین عکس‌العمل را به مصرف آن نشان می‌دهد استعمال گردد. بنابراین، در یک تناوب ذرت، گندم و دوسال یونجه، آهک باید بعد از برداشت گندم برای ایجاد مطلوب‌ترین تأثیر در رشد محصول یونجه‌ی بعدی استعمال گردد. از آن‌جاکه اکثراً آهک با استفاده از کامیون‌های سنگین در حجم‌های زیاد توزیع می‌گردد استعمال آن معمولاً در کلش و یا پس‌مانده گیاه قبلی انجام می‌شود تا از تراکم نامطلوب خاک به وسیله‌ی چرخ‌های کامیون ممانعت گردد. در صورت مصرف آهک در زمین تازه شخم شده تراکم ایجاد خواهد شد.

موقعیت‌های خاص

توزیع آهک در حوزه‌های آب‌خیز جنگلی به‌ندرت عملی می‌باشد. این مناطق برای آهک‌پخش‌کن‌های زمینی قابل‌دستیابی نبوده و توزیع دستی بسیار ملالت‌بار و پرهزینه است. در بعضی موارد مالکین به استفاده از هلی‌کوپتر برای پخش مقادیر اندکی از این مواد آهکی روی آورده‌اند. برای خاک‌های خیلی شنی اسیدی این کاربرد می‌تواند اثرات زیان‌بار اسیدیته خاک را اصلاح، و کلسیم کافی را برای درختان تأمین کند.

در بعضی از نظام‌های خاک - زراعت مسأله داخل نمودن و مخلوط کردن آهک با مشکل مواجه می‌باشد. برای مثال در نظام^۱ خاک‌ورزی فاقد شخم و شیار، خاک مورد شخم قرار نمی‌گیرد. به‌علاوه این نظام تمایل دارد که اسیدیته‌ی لایه‌های فوقانی خاک را که پس‌مانده‌های گیاهی در آن تمرکز یافته‌اند بالا ببرد. گرچه مشخص شده است که گرم‌های خاکی در داخل کردن آهک سطحی موثر می‌باشند (شکل ۲۷-۹ را مشاهده کنید). توصیه شده است که سنگ آهک در یک خاک اسیدی قبل از شروع خاک‌ورزی صفر با خاک مخلوط گردد. استعمال سطحی بعدی آهک باید به‌مقدار کافی برای خشتی کردن اسیدیته‌ی تشکیل شده در سطح انجام گیرد.

چمن‌ها، زمین‌های گلف و سایر اراضی چمنی تورف‌زار، با مشکلات آهک‌دادن و مخلوط کردن کربنات کلسیم، حتی بیشتر از نظام خاک‌ورزی بدون شخم و شیار مواجه می‌باشند. وقتی این اراضی اولین بار بذرکاری می‌شوند باید اطمینان داشت که pH خاک به‌مقدار رضایت‌بخش است. با برنامه‌ریزی زمانی خاص، آهک‌دادن آتی و انجام عملیات سالانه‌ی خاک‌ورزی تهویه‌ای، که منافذی را در داخل خاک باقی می‌گذارد، مقداری حرکت روبه‌پایین آهک می‌تواند تحت تأثیر قرار گیرد. این به‌معنی کاربرد مکرر اما مقادیر کمتر آهک می‌باشد.



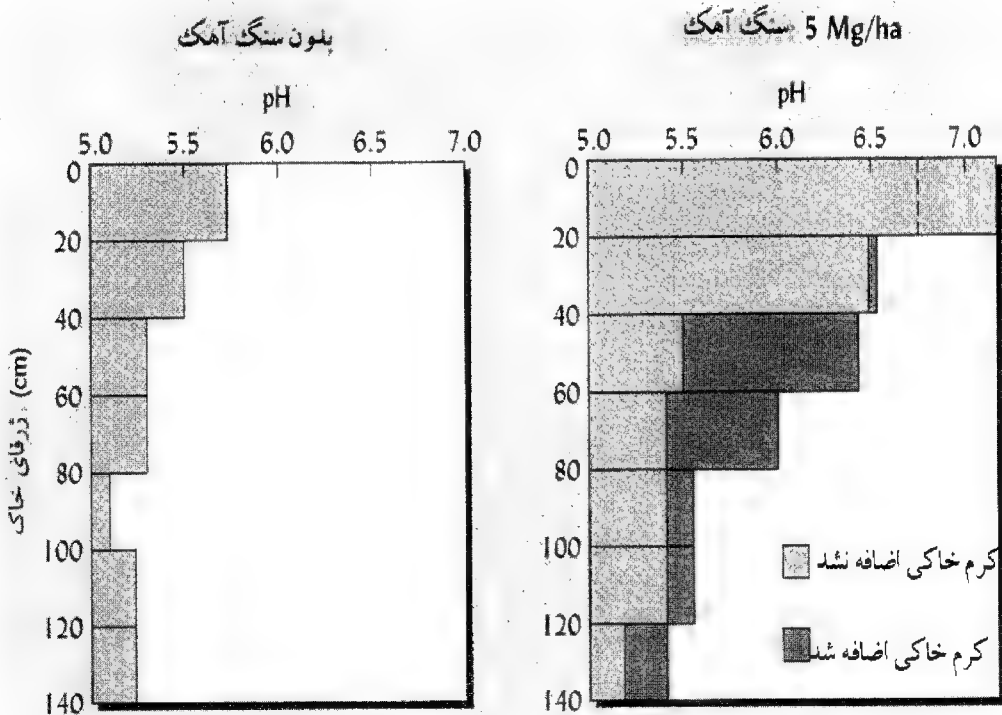
شکل ۲۶-۹ مصرف فله‌ای آهک با کامیون‌های تجهیز شده خاص، گسترده‌ترین روش مصرف مواد آهکی است. به‌دلیل وزن سنگین این کامیون‌ها بیشتر آهک بر روی پس‌مانده‌های گیاهی و کلش مصرف گردیده و با شخم به زیر خاک برگردانده می‌شود. در بسیاری موارد همین روش برای مصرف کودهای شیمیایی نیز به‌کار می‌رود.

^۱ - No tillage

انتخاب گیاهان سازگار

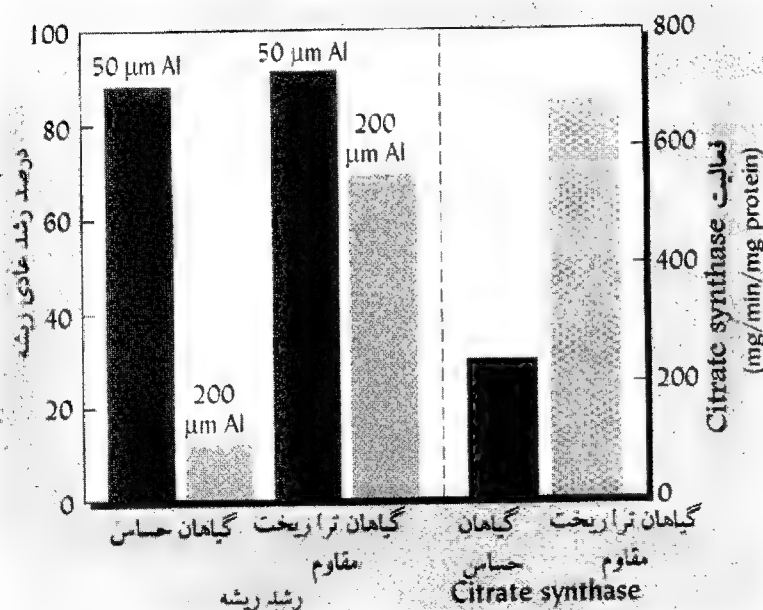
اغلب منطقی‌تر این است که مسایل اسیدیته و قلیابیت خاک را با تغییر گیاه مورد نظر برای کشت به‌جای تلاش برای تغییر pH مرتفع نمود. نه تنها اختلافات چشم‌گیری در مقاومت به قلیابیت و اسیدیته در بین گونه‌های مختلف گیاهی موجود است، بلکه تنوع بسیار زیادی در بین نژادها در داخل یک گونه از نظر مقاومت به pH بالا و پایین وجود دارد. متخصصین اصلاح نباتات از این تنوع برای معرفی ارقام گیاهان خوراکی که به شرایط خیلی اسیدی و یا قلیایی مقاوم می‌باشند برای کشت در سطوح وسیع استفاده می‌کنند (شکل ۲۸-۹). برای مثال، ارقام پرمحصول گندم که کاملاً به اسیدیته خاک و مقادیر بالای آلومینیوم مقاوم می‌باشند معرفی گردیده و در بعضی از مناطق گرمسیری که حتی آهک‌دادن متوسط از نظر اقتصادی عملی نیست، مورد استفاده می‌باشند. دانشمندان خاک و نبات باید برای بالابردن توان خانواده‌های کم‌درآمد جهت رفع نیازهای غذایی خود همکاری داشته باشند.

مثال دیگر از نقش اثرات متقابل خاک-نبات برای غلبه بر اثرات منفی اسیدیته‌ی خاک استفاده از گیاهان کود سبز (نباتاتی که اختصاصاً برای تأمین بقایای آلی کشت می‌شوند) برای غلبه بر سمیت آلومینیوم می‌باشد. یون‌های Al^{3+} در محلول خاک به‌شدت به سطوح مواد آلی در حال فساد جذب شده و در آن‌جا به‌وسیله پیوند چنگالی^۱ به‌شدت نگهداری می‌شوند (شکل ۲-۹ را مشاهده کنید). نباتات کود سبز می‌توانند پس‌مانده‌های گیاهی را که برای تقویت این اثرات متقابل، و در نتیجه کاهش مقدار Al^{3+} در محلول خاک لازم است فراهم کنند. گیاهان حساس به آلومینیوم به‌دنبال گیاهان کود سبز می‌توانند کشت گردند. این نوع تعامل برای زارعین کشورهای کم‌درآمد که وجود آهک و عوامل هزینه‌بر موانعی درمقابل تنظیم pH خاک است، بسیار یاری‌رسان می‌باشد.



شکل ۲۷-۹ اثر سنگ آهک مصرف شده در سطح یا و بدون معرفی یک کرم خاکی فعال *Allolobophora longa* در pH اعماق مختلف یک خاک الفی‌سول. در قسمت چپ آهکی مصرف نشده است. آهک سبب افزایش pH (سمت راست) گردید، اما بدون معرفی کرم خاکی تغییر در pH عمدتاً در ۴۰ سانتی‌متری بالایی می‌باشد. کرم‌های خاکی ظاهراً آهک را به طبقات پایین خاک حرکت داده و بنابراین آن‌ها را برای رشد ریشه نبات بسیار مناسب می‌سازد.

¹ - Ligand



شکل ۲۸-۹ (چپ) اثر دوسطح آلومینیوم در رشد ریشه گیاهان حساس به آلومینیوم در مقایسه با گیاهان مقاوم تراریخت که به وسیله انتقال ژن به وجود آمده‌اند. (راست) تولید نسبی سترات سیتاز، آنزیم محرک تولید اسید ستریک که سبب ایجادیک همات (کیلات) با یون‌های آلومینیوم و جلوگیری از جذب آن‌ها به وسیله ریشه گیاه در ارقام حساس و مقاوم گردد. اطلاعات ارائه شده برای تنباکو است اما نتایج مشابهی برای گیاه کاساوا نیز به دست آمده است.

مصرف بیش از حد آهک

ملاحظه عملی دیگر، خطر آهک‌دادن بیش از حد است، مصرف آهک به حدی که pH حاصل برای رشد بهینه گیاه بسیار بالا باشد. آهک‌دادن اضافی در خاک‌های بافت ریز با ظرفیت بافری بالا خیلی معمول نیست، اما می‌تواند به آسانی در خاک‌های بافت سبک، که از نظر مقدار ماده آلی پایین می‌باشد صورت گیرد. نتایج زیان‌بار آهک اضافی شامل کمبود آهن، منگنز، مس، کاهش قابلیت استفاده فسفر، و محدودیت جذب بُر از محلول خاک است. آسان‌تر این است که در صورت نیاز مقدار کمی آهک بعدها مصرف گردد. از بین بردن نتایج افزایش بی‌رویه مشکل است. بنابراین مواد آهکی باید محتاطانه به خاک‌های دارای ظرفیت بافری ضعیف اضافه گردد.

۹-۱۴ اصلاح اسیدیته در خاک‌های تحت‌الارضی

همان‌طور که در بخش‌های قبلی تشریح گردید، آهک مصرف‌شده در سطح می‌تواند به آسانی اسیدیته خاک را در لایه‌های سطحی خاک اصلاح کند. خاک تحت‌الارض مناطق آهک داده شده اسید باقی می‌ماند، زیرا سنگ آهک به آسانی به پایین خاک‌رخ حرکت نخواهد کرد. رشد ریشه، و در نتیجه عملکرد نبات، اغلب به واسطه خاک‌های خیلی اسیدی دچار محدودیت می‌شود. سمیت آلومینیوم و/یا کمبود کلسیم در بعضی از این خاک‌های تحت‌الارض اسیدی مشاهده شده است.

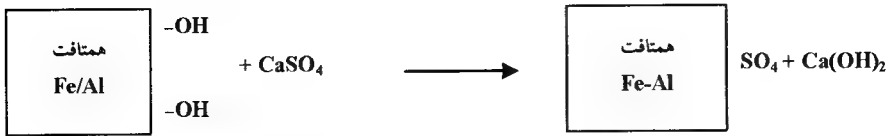
اصلاح و مرمت به وسیله گچ

محققین در قسمت جنوب شرقی ایالات متحده و در بعضی از کشورهای حاره‌ای دریافته‌اند گچ ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) می‌تواند سمیت آلومینیوم را در خاک تحت‌الارضی اصلاح کرده و در نتیجه عملکرد محصول را بالا می‌برد. گچ مصرف‌شده در سطح خاک به آسانی حل شده و به داخل خاک آشفوی می‌شود. بعد از یک سال مصرف گچ، عملکرد مطلوب در گیاهان معمول مانند ذرت، لوبیا، روغن‌ریز، یونجه، بقولات، گندم، سیب و پنبه حاصل گردید. انتشار ریشه‌های محصولات در خاک تحت‌الارض با مصرف گچ افزایش یافت (شکل ۲۹-۹) و محصولات کمتر به خشک‌سالی‌های بعدی حساس می‌شوند. گچ در رسوبات طبیعی به‌طور گسترده‌ای در دسترس است، اما یک فراآورده جانبی صنعتی است که در کارخانه‌های کودهای شیمیایی^۱ تجزیه‌ی دقیق و تصفیه‌ی گوگرد از گازهای طبیعی به دست می‌آید.

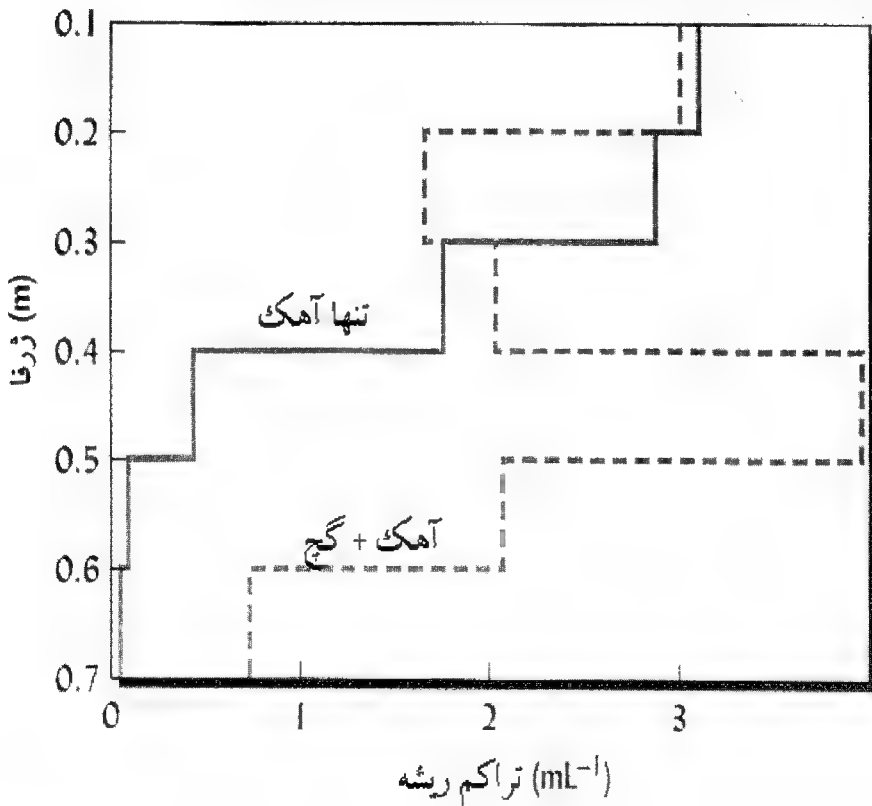
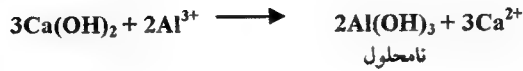
سازوکار اصلاح خاک تحت‌الارضی به وسیله گچ از یک خاک به خاک دیگر متفاوت است. هرچند گچ مصرف‌شده از نظر افزایش میزان کلسیم و کاهش میزان آلومینیوم در محلول خاک و همات تبادیل شناخته شده می‌باشد. افزایش کلسیم مستقیماً از افزایش گچ ناشی

^۱ - High - analysis fertilizers

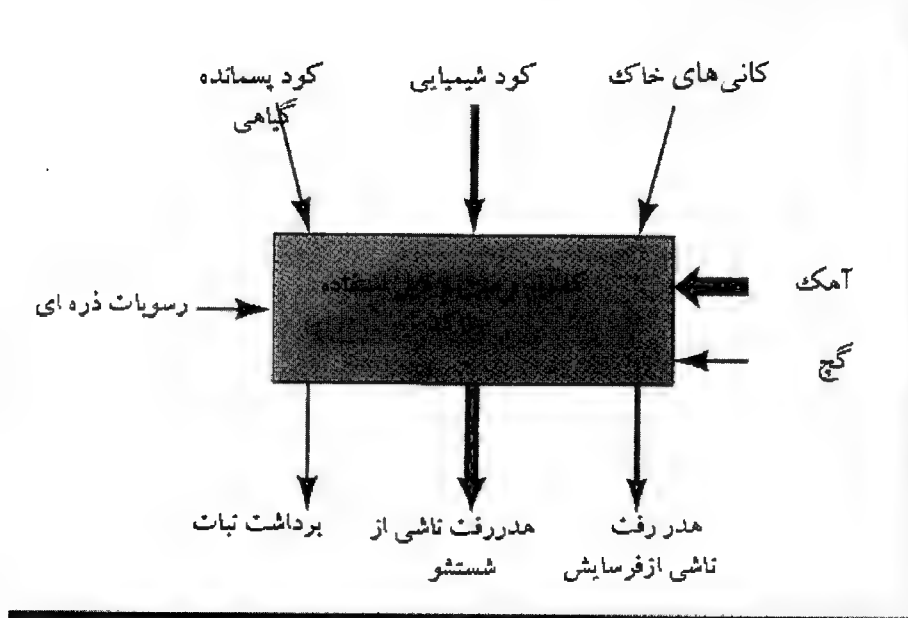
می‌شود. کاهش میزان آلومینیوم به‌نظر می‌رسد که با واکنشی که بین سولفات در آن وجود دارد تقویت می‌شود. برای مثال، بین SO_4^{2-} می‌تواند بین OH^- را که با سزکی اکسیدهای Fe و Al همراه می‌باشد طی واکنش‌هایی مانند زیر جایگزین سازد:



Ca(OH)_2 سپس می‌تواند با Al^{3+} در محلول خاک وارد واکنش شده تا Al(OH)_3 نامحلول را تشکیل دهد و بنابراین غلظت بین Al^{3+} را در ضمن افزایش غلظت Ca^{2+} کاهش دهد.



شکل ۹-۲۹ گچ مصرف شده سطحی برای مرمت اسیدپته شدید خاک زیرین و افزایش ریشه نبات در یک خاک آلی سول آفریقایی جنوبی از خاکرخ به پایین حرکت کرده است. توسعه‌ی ریشه‌ها به خاک زیرین می‌تواند قابلیت استفاده از آب و عناصر غذایی را افزایش دهد.



شکل ۳۰-۹ راه‌های مهم که به‌وسیله‌ی آن‌ها کلسیم و منیزیم به خاک عرضه شده و از خاک برداشت می‌شوند. هدررفت‌های عمده از طریق آبشویی و فرسایش است. این هدررفت‌ها عمدتاً به‌وسیله‌ی مصرف آهک و کودهای شیمیایی جایگزین می‌شود. اضافه‌شدن برآثر مصرف کودها از آنچه عموماً تشخیص داده می‌شوند بالاتر است، زیرا بعضی از کودهای فسفاته شامل مقادیر زیادی کلسیم هستند. ذرات گردوخاک غنی از کلسیم در مناطق خشک و در مناطق آلوده‌شده‌ی صنعتی نقش مهمی را در بوم‌سامان‌های غیرزراعی، که مواد اصلاح‌کننده مصرف نمی‌شود، ایفا می‌کند

۹-۱۵ نتیجه‌گیری نهایی

در تعیین محیط شیمیایی گیاهان عالی و میکروب‌ها، هیچ یک از خصوصیات شیمیایی خاک به تنهایی مهم‌تر از pH نمی‌باشد. واکنش‌های محدودی در مورد اجزای خاک و یا موجودات زیستی آن وجود دارد که به pH خاک حساس نباشند. این حساسیت باید در هر نظام مدیریت خاک تشخیص داده شود.

pH خاک تا حد زیادی به‌وسیله‌ی ذرات ریز خاک و کاتیون‌های قابل تبادل همراه آن مهار می‌شود. آلومینیوم و هیدروژن سبب ارتقا اسیدیته‌ی خاک می‌شود، درحالی‌که کلسیم و سایر کاتیون‌های بازی (به‌خصوص سدیم) سبب ارتقا قلیائیت خاک می‌گردند. همتافت تبادل همچنین یک سازوکار بافری خاک است که در مقابل تغییرات شدید واکنش آن مقاومت نموده و سبب پایداری اکثر نظام‌های گیاه و خاک می‌شود

حفظ سطوح رضایت‌بخش حاصل‌خیزی خاک در مناطق مرطوب به‌مقدار قابل توجهی به مصرف بخردانه‌ی آهک برای حفظ تعادل هدررفت کلسیم و منیزیم از خاک وابسته است (شکل ۳۰-۹). آهک‌دادن نه تنها سبب حفظ مقادیر قابل تبادل کلسیم و منیزیم، بلکه ایجاد محیط فیزیکی و شیمیایی مناسب برای رشد اکثر گیاهان معمول می‌کند. آهک در واقع شالوده‌ای برای کشاورزی نوین در اکثر مناطق مرطوب است. دانستن چگونگی مهار pH و تاثیر آن در تأمین و قابلیت استفاده‌ی عناصر غذایی نباتات و همچنین عناصر سمی و نحوه‌ی تاثیر آن‌ها برای گیاهان عالی و انسان، و چگونگی مرمت خاک برای حفظ خاک و مدیریت پایدار آن‌ها در سرتاسر جهان اساسی می‌باشد.

سوالات برای مطالعه

- ۱- pH خاک میزان غلظت یونهای H^+ را در محلول خاک معلوم می کند. درمورد غلظت یونهای OH^- چه می گوید؟ شرح دهید.
- ۲- نقش آلومینیوم و یونهای همراه آن را در ارتقا اسیدیته ی خاک تشریح کنید. گونه های دخیل در این کار و اثر آنها را در CEC خاک تشریح کنید.
- ۳- اگر شما بتوانید به نحوی عصاره محلول خاک ۱۶ سانتی متر فوقانی یک هکتار خاک اسیدی ($pH = 5$) را استخراج کنید، فقط چند کیلوگرم آهک برای خشتی کردن محلول خاک لازم دارید. در شرایط صحرایی، تا حدود ۶ تن آهک لازمست تا pH را به ۶/۵ برساند. این اختلاف را چگونه توجیه می کنید؟
- ۴- منظور از بافری بودن چیست؟ چرا در خاکها این قدر مهم می باشد و سازوکار بافری شدن چیست؟
- ۵- باران اسیدی چیست و چرا احتمالا اثرات مهم تری بر جنگلها درمقایسه با کشاورزی تجاری دارد؟
- ۶- اهمیت pH خاک را در قابلیت استفاده و سمیت اختصاصی عناصر، و هم چنین ترکیب گونه های پوشش طبیعی یک منطقه را تشریح کنید
- ۷- چه مقدار آهک با $CaCO_3$ معادل ۹۰ شما لازم است مصرف کنید تا درصد اشباع بازی یک خاک لوم سیلتی با CEC ۲۰ سانتی مول بار در کیلوگرم را از ۶۰٪ به ۹۰٪ برسانید؟
- ۸- زه کشی و کشت و کار در بعضی از اراضی مرطوب ساحلی سبب ایجاد اسیدیته ی شدید ($pH = 4$) گردیده است. توضیح دهید که چرا این تغییر pH صورت گرفته و راه حل های مدیریتی مناسب را پیشنهاد کنید.
- ۹- یک همسایه شکایت کرده که گل های آزالیا بر اثر مصرف آهک زیاد به چمن اطراف آنها به طور منفی تحت تاثیر قرار گرفته اند. این مشکل را مربوط به چه می دانید و چگونه آنرا جبران خواهید کرد؟
- ۱۰- اثرات زیان بار اسیدیته در خاک زیرین با اضافه کردن گچ $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ به خاک سطحی مرمت می شود. چه سازوکاری را مربوط به این اثر گچ می دانید؟

قلیا در روی آن‌ها چنان تجمع یافته است که به‌صورت باتلاق و مرداب و کفه‌های قلیایی در آمده‌اند و اراضی حاصل‌خیز سابق همانند اراضی متروکه و بایر رها شده‌اند. میلتن ویتنی اولین رییس بخش خاک وزارت کشاورزی آمریکا (۱۸۹۸)

فصل دهم

خاک‌های قلیایی و مبتلا به شوری و مدیریت آن‌ها

خاک‌های قلیایی و مبتلا به شوری عمدتاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک در بیشتر از نصف اراضی قابل‌کشت جهان یافت می‌شوند. اراضی وسیعی از آن‌ها به مراتع و زراعت دیم اختصاص یافته و بخش قابل‌توجهی نیز برای زراعت آبی مورد استفاده می‌باشد. آب آبیاری چه از مخازن سطحی و چه از پمپاژ آب‌خوان‌ها می‌تواند این مناطق خشک را به پرمحصول‌ترین مزارع دنیا تبدیل کند. در آمریکا ۱۵٪ اراضی تحت آبیاری ۴۰ درصد ارزش کل محصولات را تولید می‌کند.

بیشتر اراضی شور و قلیا، هرچند برای کشاورزی مورد استفاده قرار نمی‌گیرند، پوشش بومی آن‌ها دارای تنوع گسترده‌ای از نباتات می‌باشد که همراه با حیوانات بومی خود در تنوع زیستی نقش عمده‌ای دارند.

خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک اکثراً قلیایی می‌باشند. زیرا بارندگی و یا ریزش برف برای آبشویی کاتیون‌های بازی (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ و غیره) که با هوادهی سنگ‌ها و کانی‌ها با تانی آزاد می‌شوند، بسنده نیست. در نتیجه درصد اشباع بازی بالا بوده و pH بالاتر از ۷ غالب می‌باشد. در بعضی مناطق با زه‌کشی داخلی ضعیف حتی از آبشویی نمک‌های محلول مانند NaCl , CaCl_2 , MgCl_2 و KCl نیز ممانعت گردیده و منجر به ایجاد شرایط شوری و همچنین قلیائیت شده است.

در مقیاس جهانی حدود یک‌سوم اراضی تحت آبیاری دارای مسایل شوری هستند. آب آبیاری نمک‌ها را از حوضه‌های بالادست به اراضی کشاورزی انتقال می‌دهد. اگر نظام‌های آبیاری زه‌کشی داخلی مناسبی فراهم نکنند، نمک‌ها به‌خصوص آن‌هایی که دارای سدیم می‌باشند، می‌توانند چنان تجمع یابند که سبب بروز مسایل فیزیکی و شیمیایی گردیده و خاک را عملاً برای زیستگاه نبات غیرقابل استفاده سازند.

خاک‌های شور و قلیا نقش بارزی در تاریخ جهان داشته‌اند، زیرا عروج و افول چندین تمدن باستانی در ارتباط با مدیریت آبیاری اراضی و سوءمدیریت بعدی آن‌ها بوده است. با بررسی بعضی از اشتباهاتی که منجر به سقوط این تمدن‌ها شده است امید این است که ما فرا گیریم چگونه از این اشتباهات در آینده دوری جویم.

۱-۱۰ منابع قلیائیت

در فصل ۹ آموختیم که جایگزینی Al^{3+} و H^+ از همتافت تبادل و محلول خاک به‌وسیله کاتیون‌های بازی (مثلاً Ca^{2+} , Mg^{2+} و Na^+) سبب تقویت قلیائیت می‌شود. در خاک‌های مناطق کم‌باران آنیون‌های کربنات و بی‌کربنات سبب تقویت تمایل به قلیایی شدن می‌گردند.

نقش کربنات‌ها و بی‌کربنات‌ها

منبع اولیه کربنات‌ها در خاک‌ها اسید کربنیک (H_2CO_3) است که از واکنش CO_2 حاصل از فعالیت میکروبی و تنفس ریشه با آب حاصل می‌شود.



به‌خاطر این واکنش محلول خاک، که در تعادل با CO_2 نیوار خاک می‌باشد دارای pH حدود ۴/۸ است. در خاک‌ها با pH بالاتر، یون‌های فراوان OH^- با H_2CO_3 وارد واکنش شده اول بی‌کربنات (HCO_3^-) و سپس یون کربنات (CO_3^{2-}) تولید می‌کند.

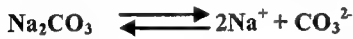


یک محلول خاک دارای یون بی‌کربنات در تعادل با CO_2 نیوار دارای pH حدود ۸/۴ می‌باشد، در صورتی که در محلول‌هایی دارای کربنات‌های محلول، می‌باشند pH به ۱۰، و یا بیشتر می‌رسد.

توجه کنید اگر غلظت یون‌های HCO_3^- و یا CO_3^{2-} افزایش یابد واکنش‌های فوق‌الذکر به سمت چپ برگشته و یون OH^- بیشتری تولید شده و pH افزایش می‌یابد، این مطلب به‌وسیله‌ی شکل ۱-۱۰ تأیید شده است. در این شکل رابطه بین غلظت یون‌های HCO_3^- ، CO_3^{2-} با H^+ و OH^- نشان داده شده است. توجه کنید که افزایش یون‌های HCO_3^- و یا CO_3^{2-} سبب افزایش یون‌های OH^- و کاهش یون‌های H^+ می‌شود. لگاریتم منفی فعالیت یون H^+ (و یا pH) با وقوع واکنش‌های فوق از ۴ به حدود ۱۰ می‌رسد. با توجه به این شکل ما می‌توانیم تأثیر کربنات‌ها و بی‌کربنات‌ها را بر روی pH خاک در خاک‌های قلیایی مشاهده کنیم. ما همچنین می‌توانیم چگونگی تأثیر بافری این دو آنیون را بر روی pH خاک مشاهده کنیم.

نقش کاتیون‌ها (Na^+ در مقایسه با Ca^{2+})

کاتیون خاصی که در ارتباط با یون‌های کربنات است در میزان pH مؤثر می‌باشد. برای نمونه، اگر یون‌های Na^+ جذب شده در هماتیت و در محلول زیاد باشد و اگر مقادیر زیادی HCO_3^- و یا CO_3^{2-} وجود داشته باشند NaHCO_3 و Na_2CO_3 تشکیل می‌شوند. هر دو این نمک‌ها محلول در آب بوده و به‌شدت قابل‌یونیزه شدن هستند که به‌طور مداوم سبب تضمین مقدار بالای یون‌های HCO_3^- و CO_3^{2-} می‌باشند.



غلظت بالای یون‌های کربنات می‌تواند منجر به pH‌های زیاد به‌میزان ۱۰ یا بیشتر (شکل ۱-۱۰) گردیده و خاک را برای اکثر نباتات تقریباً غیرقابل‌زیست کند.

خوشبختانه Ca^{2+} کاتیون غالب در اکثر خاک‌های قلیایی است. این کاتیون با اسید کربنیک واکنش انجام داده و تشکیل $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ و CaCO_3 می‌دهد. یون $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ در آب کاملاً محلول بوده و همانند NaHCO_3 یونیزه می‌شود.

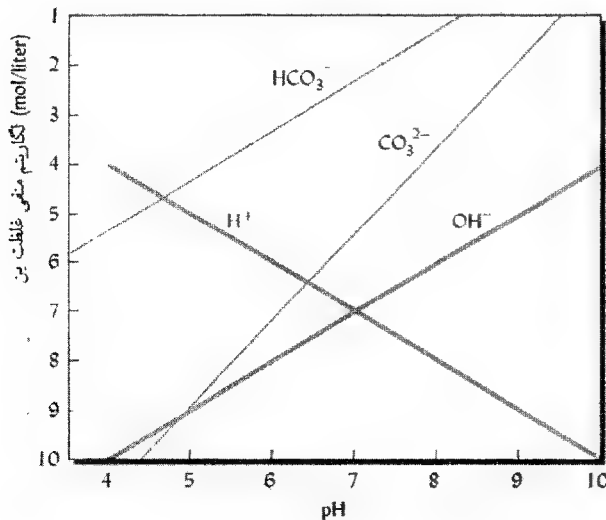


میزان HCO_3^- بالا باقی مانده و سبب تضمین غلظت یون OH^- و میزان pH بالا می‌شود. برعکس CaCO_3 در آب خیلی محلول نبوده و به‌طور عمده برای تولید یون‌های CO_3^{2-} زیاد یونیزه نمی‌شود.



نا محلول

توجه کنید که نقطه‌ی تعادل برای این واکنش مطمئناً به سمت چپ بوده و تضمین می‌کند که غلظت CO_3^{2-} خیلی کم می‌شود، در نتیجه CaCO_3 سبب ایجاد pH بالاتر از آنچه که به‌وسیله‌ی $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ به‌دست می‌آید نمی‌گردد. این جای خوشبختی است، زیرا انواع زیادی از خاک‌های قلیایی دارای مقادیر قابل‌توجهی CaCO_3 غیرمحلول قابل‌ته‌نشین شدن هنگام تشکیل خاک می‌باشند. pH افسق‌های دارای CaCO_3 (آهکی) معمولاً بیشتر از ۷/۵ تا ۸ نمی‌باشد، و این میزانی است که به‌وسیله‌ی بسیاری از گونه‌های نباتی قابل‌تحمل است.



شکل ۱-۱۰ اثر کربنات‌ها (HCO_3^- و CO_3^{2-}) بر غلظت یون‌های H^+ و OH^- که بر حسب لگاریتم منفی نشان داده شده است (خط H^+ بیانگر افزایش pH یا لگاریتم منفی یون‌های H^+ ($-\log \text{H}^+$) از حدود ۴ تا ۱۰ می‌باشد). این نمودار نشان می‌دهد که میزان یون‌های HCO_3^- و CO_3^{2-} در محلول خاک نقش عمده‌ای در تعیین pH خاک دارند.

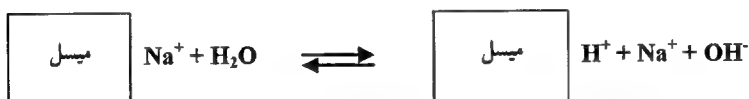
تأثیر نمک‌ها

نمک‌های خشی مانند NaCl , KCl , CaCl_2 , MgCl_2 می‌توانند اثر کاتیون‌های جذب شده و کربنات‌ها را بر pH بعضی از خاک‌های قلیایی تعدیل کنند. برای مثال مقادیر بالای NaCl یونی‌زاسیون NaHCO_3 را محدود می‌کنند.



غلظت بالای Na^+ که از NaCl می‌آید واکنش را به سمت چپ می‌کشانند. حاصل غلظت کم HCO_3^- و پایین بردن غلظت OH^- همراه آن و مقدار pH خاک است.

همچنین نمک‌های محلول در غلظت OH^- که از جذب بالای Na^+ در همتافت کلوییدی حاصل می‌شود تأثیر می‌گذارند.



این واکنش نیز به‌طور مشابه در حضور نمک‌های محلول مانند NaCl و یا Na_2SO_4 به سمت چپ رانده می‌شود. پیامد این واکنش کاهش غلظت OH^- و پایین آوردن pH است. نمک‌های محلول سبب حفظ شرایط فیزیکی خوب حتی هنگامی که میزان غلظت Na^+ بالا است می‌گردند، خاک‌های مبتلا به شوری را بعد از یک بررسی اجمالی در خصوصیات خاک‌های قلیایی، که دارای مقدار کمی نمک می‌باشند مورد ملاحظه قرار خواهیم داد.

۱۰-۲ خاک‌های قلیایی غیرشور مناطق خشک

علاوه بر میزان پایین H^+ و میزان بالایی OH^- شماری از این ویژگی‌ها مورد تأکید مجدد قرار می‌گیرند.

کمبود عناصر غذایی

عناصر غذایی مانند آهن، منگنز و روی، که آزادانه در خاک‌های اسیدی قابل استفاده‌اند (بعضی مواقع در حد سمیت)، در بسیاری از خاک‌های قلیایی به‌ندرت قابل استفاده بوده و یا حتی سبب کمبود این عناصر در گیاهان می‌شود. متأسفانه استعمال کودهای شیمیایی و یا پس‌مانده‌های گیاهی حاوی این عناصر کم‌مصرف بعضی مواقع بی‌تأثیر است، زیرا این عناصر در خاک‌های دارای pH بالا به‌سرعت به اشکال غیرقابل حل در می‌آیند. ترکیبات همتافت آلی محافظت‌کننده خاص پنام کیلات می‌توانند در تأمین نیازهای غذایی گیاهان کشت شده در این خاک‌ها مؤثر باشند. (بخش ۶-۱۵ را مشاهده کنید). همچنین در تولید گیاهان پرارزش برای جلوگیری از تعامل عناصر کم‌مصرف و خاک‌های دارای pH بالا، عناصر کم‌مصرف معمولاً به‌طور مستقیم بر روی سطح برگ پاشیده می‌شود.

در خاک‌های قلیایی فسفر بومی و فسفر داده‌شده هر دو به‌صورت فسفات کلسیم و منیزیم بسیار نامحلول در می‌آیند و فسفر فقط به‌مقدار بسیار جزئی برای جذب نبات قابل استفاده می‌باشد. به‌همین ترتیب قابلیت استفاده بُر در سطوح بالای pH کاهش می‌یابد، زیرا در بالاتر از ۷ بر به‌شدت به‌وسیله‌ی کلویدهای خاک جذب می‌شود. برعکس قابلیت استفاده مولیبدن در دامنه pH قلیایی افزایش یافته به‌طوری‌که سمیت موضعی مولیبدن در بعضی مناطق برای گیاهان و احشام چراکننده مسأله می‌باشد. تعامل عنصر به عنصر عناصر غذایی در خاک‌های قلیایی باید در مدیریت خاک‌ها به‌دقت مورد ملاحظه قرار گیرد.

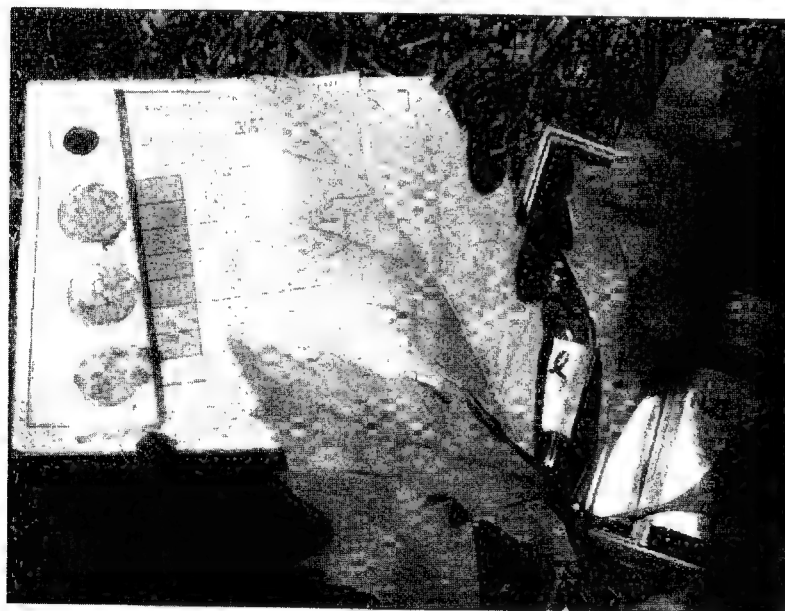
کمبود عناصر کم‌مصرف در خاک‌های قلیایی به‌خصوص برای مشتاقان طراحی محوطه منازل و باغبانی مشکل‌ساز است (شکل ۲-۱۰). متأسفانه بعضی از گیاهان زینتی خیلی مشهور با خاک‌های قلیایی، به‌خصوص خاک‌های آهکی دارای کربنات کلسیم در لایه‌های فوقانی خوب تطابق نیافته‌اند. باغبانان یا باید ارقام سازگار گیاهان بومی را که به قلیاییت مقاوم می‌باشد انتخاب کنند، و یا باید مصاد تولیدکننده اسید مانند گوگرد را برای تغییر pH این خاک‌ها و ایجاد محیط سازگار برای نبات به خاک اضافه کنند.

ظرفیت تبادل کاتیونی

ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) خاک‌های قلیایی معمولاً بالاتر از خاک‌های اسیدی با بافت مشابه است. این در نتیجه‌ی دو عامل اصلی است: (۱) CEC بالا همراه با بار ثابت در رس‌های نوع ۲:۱ است که در خاک‌های قلیایی بسیار معمولند، و (۲) CEC به مراتب بالاتر در نتیجه‌ی بارهای وابسته به pH است، که در کلویدهای هموسی در این pH بالا وجود دارد.



شکل ۲-۱۰ بلوط زیتنی (بالا) با شاخه‌های در حال مرگ در جلو عکس) که در خاک‌ها با اسیدیته‌ی متوسط در مناطق مرطوب به‌خوبی رشد می‌کند در خاک‌های آهکی در کلرادو رشد اندکی دارد. کمبود عناصر غذایی (احتمالاً آهن) با رنگ سبز روشن در بین رگبرگ‌ها (پایین عکس) مشخص گردیده است. آزمایش خاک تأیید نموده است که خاک قلیایی است. باغبانان یا باید ارقامی را انتخاب کنند که از نظر مقاومت به قلیایی بودن خاک شناخته شده‌اند، و یا خاک را اسیدی کرده و با عناصر کم‌مصرف را که گیاهان حساس به شرایط قلیایی به آن نیاز دارند، فراهم کنند.



لایه‌های آهکی

خصوصیت معمول دیگر بسیاری از خاک‌های خوب تکامل یافته مناطق دارای بارندگی پایین تجمع کربنات کلسیم در عمق خاک‌رخ (شکل ۳-۱۰ و تابلو رنگی ۱۳) می‌باشد. این افق‌ها، افق‌های آهکی^۱ نامیده می‌شود. تجمع بالای کربنات کلسیم در این افق‌ها، مانع رشد بهینه ریشه در بعضی گیاهان خواهد شد. وقتی تجمع آهک در نزدیک سطح خاک که معمولاً در مناطق کم باران شایع است حاصل شود، کمبود شدید عناصر کم‌مصرف می‌تواند برای نباتاتی که با این شرایط سازگاری نیافته‌اند صورت گیرد (تابلو ۲۹). رسته‌ها و زیررسته‌های اصلی خاک در مناطق کم‌باران در بخش ۱۰-۳ تا ۱۳-۳ تشریح شده است.

^۱ -Calcareous horizons



شکل ۳-۱۰ تراکم کربنات کلسیم در بخش پایین افق B (B_K) و بخش فوقانی افق C (C_K) (چاقو در مرز دو افق خاک فرو رفته است) مشخص‌کننده این خاک استول^۱ و بسیاری از خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. لایه آهکی سبب بالا بودن pH گردیده و قابلیت استفاده عناصر کم مصرف مانند آهن، منگنز و روی را محدود می‌کند.

تأمین آب خاک

برخلاف خاک‌های مناطق مرطوب، لایه‌های زیرین خاک‌های قلیایی مناطق دارای بارندگی اندک معمولاً خشک است مگر این که سطح آب زیرزمینی بالا باشد. رطوبت محدود در لایه‌های فوقانی و رقابت برای آب در میان نباتات عوامل اصلی در تعیین سرشت و توان تولید پوشش گیاهی بومی، و همین‌طور ظرفیت اراضی برای نگهداری احشام می‌باشد (بخش ۱۳-۲ را مشاهده کنید). مدیریت آب در کشت و کار مناطق خشک و نیمه‌خشک باید دارای بالاترین اولویت باشد. عملیات خاک‌ورزی که سبب نفوذ آب به داخل خاک در هنگام نزول بارندگی‌ها و برف می‌شود باید انتخاب گردند (شکل ۷-۶ را مشاهده کنید). به همین ترتیب، اغلب عاقلانه‌تر این است که از عملیات خاک‌ورزی مانند خاک‌پوش کلسی (بخش ۶-۶ را مشاهده کنید)، که با باقی گذاشتن مقداری پوشش در سطح خاک از تلفات آب ناشی از تبخیر و فرسایش ممانعت می‌کند، استفاده گردد.

روابط رطوبتی در خاک‌های تحت آبیاری در مناطق خشک در طول دوره‌ی رشد نبات چندان با مناطق مرطوب تفاوت ندارد. هرچند هدررفت رطوبت بر اثر تبخیر در مناطق خشک خیلی بالا بوده و باید تجمع نمک در خاک‌های تحت آبیاری برای تولید موفق محصول مورد نظارت قرار گیرد. ویژگی‌ها و مدیریت خاک‌های شور در بخش‌های زیر مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

۳-۱۰ تکامل خاک‌های مبتلا به شوری

خاک‌های شور به‌طور وسیعی در تمام جهان توزیع یافته‌اند (جدول ۱-۱۰)، گسترده‌ترین سطح آن‌ها در استرالیا، آفریقا، امریکای لاتین و خاور نزدیک و خاورمیانه قرار دارند. اغلب در مناطقی که نسبت بارندگی به تبخیر ۰/۷۵ یا کمتر از آن بوده و در اراضی مسطح با سطح ایستابی بالا که ممکن است در معرض نشت از ارتفاعات باشند یافت می‌شوند. شکل ۴-۱۰ توزیع این خاک‌ها را در قاره‌ی آمریکا نشان می‌دهد. حدود ۵۰ میلیون هکتار از اراضی زراعی و مرتعی در حال حاضر تحت تأثیر شوری بوده و در بعضی مناطق اراضی چنان تحت تأثیر قرار گرفته‌اند که سالانه ۱۰ درصد به سطح آن‌ها افزوده می‌شود.

^۱ - Ustoll

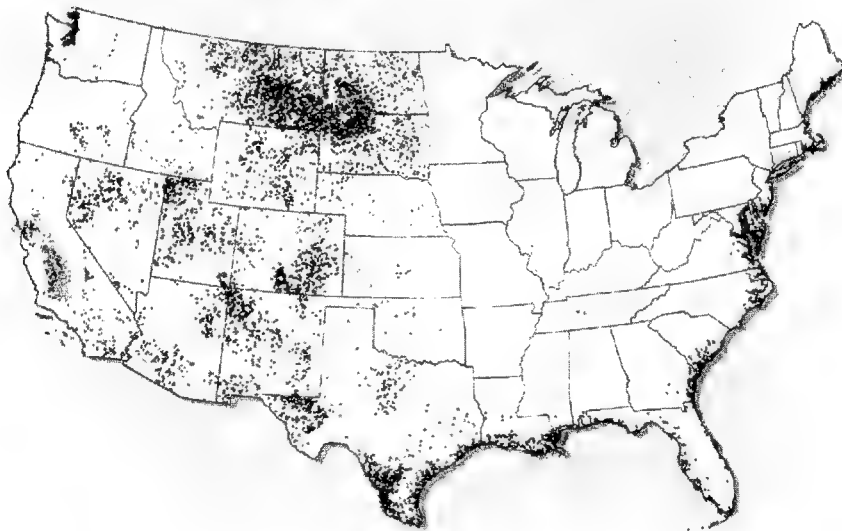
تراکم طبیعی نمک

نمک به‌طور طبیعی در بعضی از خاک‌های سطحی مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌دلیل نبود بارندگی کافی برای آبشویی آنها از افق‌های بالایی تجمع می‌یابد. در ایالات متحده، حدود یک‌سوم خاک‌ها در این مناطق با درجات متفاوت شوری مواجهند، نمک‌ها معمولاً، کلروها و سولفات‌های کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم می‌باشند. آنها ممکن است در هنگام حوادثی سنگ‌ها و کانی‌ها تشکیل گردند، و یا از طریق بارندگی و آبیاری وارد خاک شوند.

سایر منابع موضعی اما مهم عبارتند از رسوبات فسیلی نمک‌های به‌جا گذاشته در کف دریاچه‌ها و یا دریا‌های قدیمی از بین رفته، و یا منابع زیرزمینی آب شور طی دوران‌های زمین‌شناسی این نمک‌های فسیلی می‌توانند در آب زیرزمینی حل شده و به‌طور افقی در روی لایه‌های غیرقابل نفوذ زیرین حرکت کرده و نهایتاً به سطح خاک اراضی پست بالا آمده و نشست‌های شور را به‌وجود آورند. آب سپس تبخیر شده و نمک‌ها را در جای خود و یا در نزدیکی سطح خاک به‌جای می‌گذارد.

شکل ۵-۱۰ نشان می‌دهد که چگونه نمک‌ها می‌توانند در ارتفاعات پایین از نمک‌های حاصل از خاک‌های طبیعی و یا رسوبات فسیلی اراضی بالادست تجمع یابند. متأسفانه بسیاری از نباتات نمی‌توانند مقادیر بالای این نمک‌ها را تحمل کنند، و این واقعیت دلیل محدودیت شدید استفاده از بعضی از خاک‌های شور می‌باشد.

این‌ها Ca^{2+} و Mg^{2+} در هماتیت تبادل اکثر خاک‌های شور غالب می‌باشند، و در بعضی از خاک‌ها با بیش از ۱۵ درصد اشباع سدیم ممکن است pH خاک به بالاتر از ۸/۵ برسد و پایداری خاکدانه‌ها تخریب گردد، کلویدهای خاک پراکنده شده و سبب بسته‌شدن منافذ زه‌کشی شود. این خاک‌ها، خاک‌های سدیم‌دار (بخش ۵-۱۰) نامیده شده که فاقد توان تولید بوده و مدیریت آنها مشکل است.



شکل ۶-۱۰ نمایی از مزرعه نشان‌دهنده شرایطی است که سبب تجمع نمک در خاک می‌شود. آب‌های دارای کانی‌های حاصل از رسوبات فسیلی و یا نمک حاصل از حوادثی خاک در مناطق مرتفع به پایین شیب، به‌طرف اراضی پست پایین از طریق رواناب حاصل از بارندگی‌های شدید و یا آب زیرزمینی موجود بر روی تشکیلات غیرقابل نفوذ زمین‌شناسی حرکت می‌کند. وقتی آب در اراضی پست تبخیر می‌شود یا خود نمک‌ها را به نزدیکی سطح خاک آورده و در آن‌جا نمک‌ها تجمع پیدا می‌کنند.

شوری و قلیائیت حاصل از آبیاری

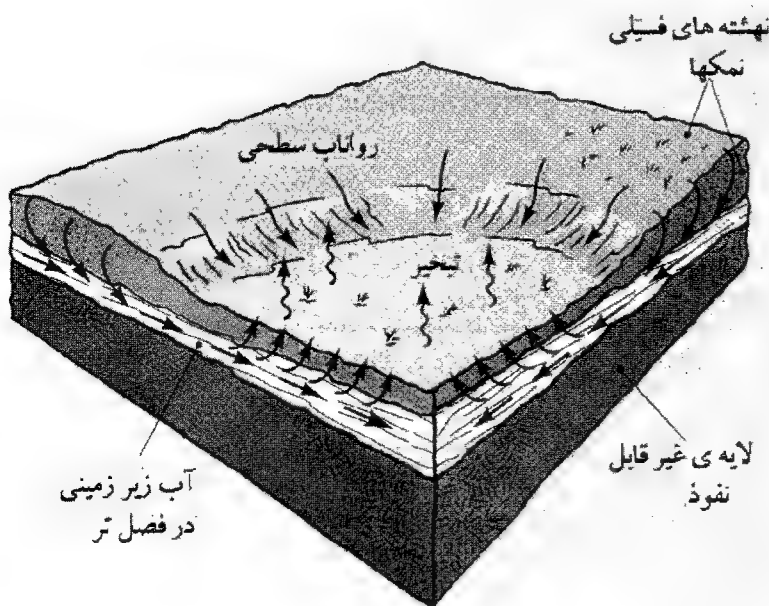
درحالی‌که در اکثر اراضی شور نمک‌ها به‌طور طبیعی تجمع یافته‌اند، شوری حاصل از آب آبیاری مشابه آنچه قرن‌ها قبل سبب فلاکت تمدن‌های قدیمی گردید، در سال‌های اخیر بسیار اهمیت پیدا کرده است. آب‌های آبیاری حاصل از حوزه‌های آب‌خیز و یا پمپاژ از سطوح ایستایی مقدار قابل توجهی از املاح محلول را با خود حمل می‌کند. در مناطقی که زمین دارای زه‌کشی مناسب بوده و آب آبیاری کافی برای آبشویی نمک‌های محلول از لایه‌های فوقانی خاک و عبور آن به لایه‌های عمقی وجود داشته باشد، از تراکم اضافی نمک ممانعت می‌کند.

اگر خاک دارای زه‌کشی ضعیف باشد، حرکت رو به پایین آب به سطوح ایستایی با مشکل مواجه بوده، نمک‌ها در خاک باقی مانده و با تبخیر آب آبیاری به سطح آمده و یک خاک شور را ایجاد خواهد کرد.

اگر آب آبیاری حاوی مقادیر قابل توجهی از یون‌های Na^+ در مقایسه با Ca^{2+} و Mg^{2+} بوده و به‌خصوص اگر یون‌های HCO_3^- وجود داشته باشند همتافت کلوییدی می‌تواند عمده‌تاً از یون Na^+ اشباع گردد و بدین صورت خاک‌های سدیمی فاقد توان تولید حاصل شود.

جدول ۱-۱۰ مساحت اراضی شور در مناطق مختلف جهان

منطقه	آفریقا	خاور نزدیک و دور	آسیا و خاور دور	امریکای لاتین	استرالیا	امریکای شمالی	اروپا	جهان
مساحت (میلیون هکتار)	۶۹/۵	۵۳/۱	۱۹/۵	۵۹/۴	۸۴/۷	۱۶	۲۰/۷	۳۲۲/۹



شکل ۱۰-۵ توزیع خاک‌های مبتلا به شوری در قاره‌ی آمریکا در سال ۱۹۹۲. اراضی کوچک در کنار خطوط ساحلی اقیانوسی یافت می‌شوند اما به اراضی بزرگ‌تر در مناطق وسیع غرب توجه کنید. هر نقطه معرف حدود ۴۰۵۰ هکتار است.

در طول سه دهه‌ی قبل، کشورهای کم‌درآمد در مناطق خشک جهان سطح اراضی آبی خود را برای تولید نیازهای غذایی جمعیت انسانی سریع‌الرشد خود به‌مقدار زیادی توسعه داده‌اند. در نتیجه، نسبت اراضی تحت آبیاری به‌طور شدیدی افزایش یافته است. این نسبت در چین به ۴۵٪، در هندوستان به ۲۵٪، در پاکستان به ۷۲٪، و در اندونزی به ۲۸٪، رسیده است. افزایش چشم‌گیر اولیه در تولید محصولات گیاهی گرچه با گسترش آبیاری میسر شده است، اما در بعضی از مناطق تحت طرح‌های آبیاری احتیاج به زه‌کشی مناسب مورد چشم‌پوشی قرار گرفته و فرایند شورشدن تشدید یافته است. در نتیجه، نمک‌ها به حدی تمرکز یافته‌اند که سبب تأثیر منفی در تولید محصولات غذایی گردیده و در بعضی مناطق خاک‌های سدیمی فاقد توان تولید ایجاد شده‌اند.

این حوادث اراضی مسطح بایر در جنوب شرق عراق را که از قرن ۱۲ میلادی لم‌یزرع باقی مانده‌اند به‌خاطر جهانیان می‌آورد. در عهد باستان اراضی این مناطق حاصل‌خیز و دارای توان تولید بالا بود. آب حاصل از رودخانه‌های دجله و فرات در افزایش توان تولید چنان نقش داشتند که کل منطقه به هلال حاصل‌خیز مشهور بودند. متأسفانه، در اراضی وسیعی خاک‌ها دارای زه‌کشی مناسب نبودند و فرایند شورشدن افزایش یافت نمک‌ها چنان تجمع پیدا کردند که تولید محصولات گیاهی کاهش یافت و اراضی اجباراً ترک گردیدند. حتی امروزه همان فرایند در مناطق مختلف در سرتاسر جهان تکرار شده و بعضی مناطق تحت کشت آبی باید ترک گردند (برای مثال شکل ۱۲-۱۹ را مشاهده کنید). توجه جدی جهان به خاک‌های شور به درستی قابل‌توجیه است.

۴-۱۰ اندازه‌گیری شوری و قلیائیت

نباتات به‌طور زیان‌باری در بعضی خاک‌ها تحت تأثیر زیادی نمک، و در خاک‌های دیگر تحت تأثیر مقادیر زیاد سدیم قابل‌تبادل قرار می‌گیرند. فرایند دوم برای هر دو خصوصیت فیزیکی و شیمیایی پوضرر بوده است. روش‌های فنی برای اندازه‌گیری سه خصوصیت اصلی باضافه pH ابداع شده است که می‌تواند برای مشخص کردن خاک‌های مبتلا به شوری مورد استفاده قرار گیرند. آن‌ها عبارتند از:

(۱) شوری خاک (۲) درصد سدیم قابل‌تعویض (ESP) ^۱ (۳) نسبت جذب سدیمی (SAR) ^۲ که هرکدام به‌طور مختصر مورد تشریح قرار خواهند گرفت

شوری خاک ^۳

آب خالص هادی ضعیفی برای الکتریسته می‌باشد، اما با حل شدن نمک در آن هدایت افزایش می‌یابد. بنابراین، هدایت الکتریسته‌ی^۴ (EC) محلول خاک به‌طور غیرمستقیم میزان نمک خاک را مشخص می‌سازد. EC هم به‌وسیله‌ی روش‌های صحرایی و هم آزمایشگاهی تعیین شده (جدول ۲-۱۰) و بر حسب دسی‌زیمنز در متر (d S /m) بیان می‌گردد. (واحد سابق بر حسب میلی‌موز در سانتی‌متر mmoh/cm بیان می‌شد، از آنجا که هر سیمنز معادل یک موز است پس هر دسی‌زیمنز در متر معادل یک میلی‌موز در سانتی‌متر است).

روش عصاره‌ی گل اشباع^۵ معمول‌ترین روش آزمایشگاهی به‌کار برده شده می‌باشد. نمونه خاک با آب مقطر برای ایجاد گل چسبناک، اشباع شده و گل به‌مدت یک شبانه‌روز برای حل شدن نمک‌ها به حال خود باقی مانده، و هدایت الکتریکی عصاره خارج شده از گل (EC_e) اندازه‌گیری می‌شود. نوعی دیگر این روش شامل تعیین هدایت الکتریکی محلول عصاره‌گیری شده از مخلوط ۱:۲ خاک و آب بعد از نیم ساعت تکان دادن^۶ آن است (EC_w). روش دوم وقت کمتری گرفته اما اغلب از روش عصاره‌ی اشباعی خاک دارای دقت کمتری می‌باشد.

روش‌های صحرایی که امروزه به‌کار می‌روند شامل اندازه‌گیری هدایت الکتریکی کالبد خاک می‌باشند، که با شوری خاک ارتباط مستقیم دارد (شکل ۲-۱۰ را مشاهده کنید). در یکی از این روش‌ها^۷ الکتروده حساس داخل خاک فرو برده می‌شود (شکل ۶-۱۰) و اندازه‌گیری مستقیم هدایت الکتریکی در صحرا (EC_a) انجام می‌شود. این دستگاه می‌تواند در پشت یک تراکتور نصب شده و به‌سرعت از یک نقطه به نقطه دیگر انتقال یابد. این روش سریع، ساده و عملی بوده و ارقامی ارائه می‌دهد که می‌توان همبستگی آن‌را با EC_e به‌دست آورد.

جدول ۲-۱۰ برآورد شوری خاک با استفاده از^۸ روش مختلف، هر روش وابسته به هدایت الکتریکی (EC) محلول خاک می‌باشد

علائم	شرایط اندازه‌گیری
آزمایشگاهی	
EC _e	هدایت الکتریکی محلول عصاره‌گیری شده از عصاره‌ی اشباعی خاک
EC _w	هدایت الکتریکی محلول عصاره‌گیری شده از عصاره‌ی مخلوط ۱:۲ آب و خاک
مزرعه	
EC _a	هدایت الکتریکی ظاهری کالبد خاک با قراردادن الکترودهای حساس
E ^a	القای الکترومغناطیسی یک جریان الکتریکی با استفاده از مبدل‌ها و خازن‌ها

روش دوم صحرایی حتی از این سریع‌تر بوده و آن عبارت از به‌کارگیری القای الکترومغناطیسی یک جریان الکتریکی در جسم خاک می‌باشد که میزان آن با هدایت الکتریکی، و از طرف دیگر با شوری خاک ارتباط دارد. یک میدان مغناطیسی در داخل خاک به‌وسیله‌ی یک کوئل انتقال‌دهنده که در روی خاک قرار گرفته و به‌وسیله‌ی یک جریان متناوب انرژی می‌گیرد، ایجاد می‌شود. میدان مغناطیسی در داخل

^۱ ESP-Exchangeable Sodium Percentage

^۲ -Sodium adsorption ratio

^۳ -Soil salinity

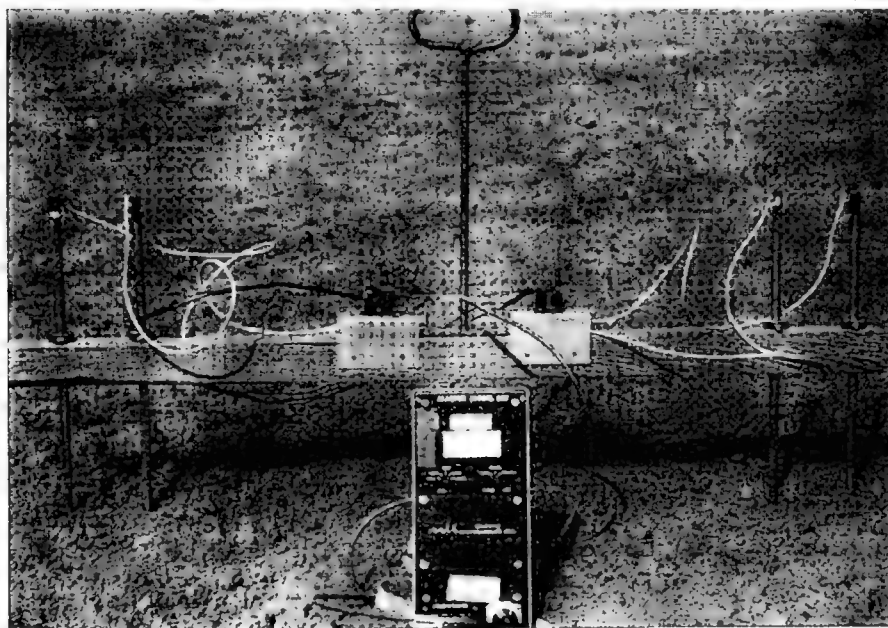
^۴ -Electrical – conductivity

^۵ -Saturation past extract

^۶ -Shaking

خاک یک جریان کوچک الکتریکی ایجاد می‌کند که مقدار آن با هدایت الکتریکی خاک ارتباط دارد. این جریان‌های کوچک، میدان مغناطیسی ثانویه خاص خود را ایجاد می‌کنند که می‌توان به وسیله یک سلول دریافت‌کننده کوچک در نزدیکی آن اندازه‌گیری کرد. این دستگاه که این کویل‌های نشردهنده و دریافت‌کننده را تهیه می‌کند می‌تواند برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی زمین (E_a^* نامیده می‌شود) بدون استفاده از میله‌های حساس به کاررفته و در مطالعه خاک‌های شور مفید بودن خود را به ظهور برساند (فصل ۳-۱۹ را مشاهده کنید). از آنجا که هدایت الکتریکی تحت تأثیر هر دو شوری و میزان آب خاک است، اندازه‌گیری صحرائی باید زمانی انجام گیرد که خاک در نزدیکی نقطه ظرفیت مزرعه باشد. در خاک‌های تحت آبیاری، بهترین اندازه‌گیری‌ها بلافاصله بعد از انجام آبیاری برای اطمینان از وجود رطوبت، به مقدار زیاد می‌باشد.

باید تذکر داد که هر یک از روش‌هایی که مورد بحث قرار گرفت شوری خاک را به‌طور غیرمستقیم با اندازه‌گیری هدایت الکتریکی برآورد می‌کند. اما ارقام EC_e ، EC_w ، EC_a و یا E_a^* که طی این مراحل به دست می‌آیند، یکسان نخواهند بود. برای مثال برای خاک‌های خیلی شور (EC_e) اندازه‌گیری شده به وسیله E_a^* الکترو-حساس حدود یک پنجم ارقام اندازه‌گیری شده در روش استاندارد در عصاره‌ی اشباعی (EC_e) می‌باشد. در هر حال، این ارقام به اندازه کافی دارای همبستگی خوبی با همدیگر بوده و بنابراین محاسبات شوری خاک بر اساس روش مرسوم استاندارد EC_e (روش عصاره‌ی اشباعی خاک) می‌تواند بیان گردد.



شکل ۶-۱۰ یک حساسیت سنج چهارالکترو-د برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی جسم خاک در صحرا به کار می‌رود. الکترودها در فاصله ثابت جدا از هم بوده به سرعت می‌توانند در داخل خاک فرو برده و اندازه‌گیری انجام شود. مجموعه‌ای از یک مولد برق قابل حمل و مقاومت سنج (در جلو عکس)، این وسیله را برای کارهای مطالعات شوری خاک بسیار مفید می‌سازد.

وضعیت سدیم خاک

دو خصوصیت برای تشخیص کردن وضعیت سدیم در خاک‌های خیلی قلیایی وجود دارد. اول درصد سدیم قابل تبادل (ESP) که بیانگر میزان اشباع همتافت تبادل به وسیله یون سدیم می‌باشد.

$$ESP = \frac{\text{سدیم قابل تبادل cmol/Kg}}{\text{ظرفیت تبادل کاتیونی خاک cmol/Kg}} \times 100$$

مقادیر ESP حدود ۱۵ سبب ایجاد pH ۸/۵ و بالاتر می‌شود. مقدار بیشتر ESP ممکن است pH را به ۱۰ برساند.

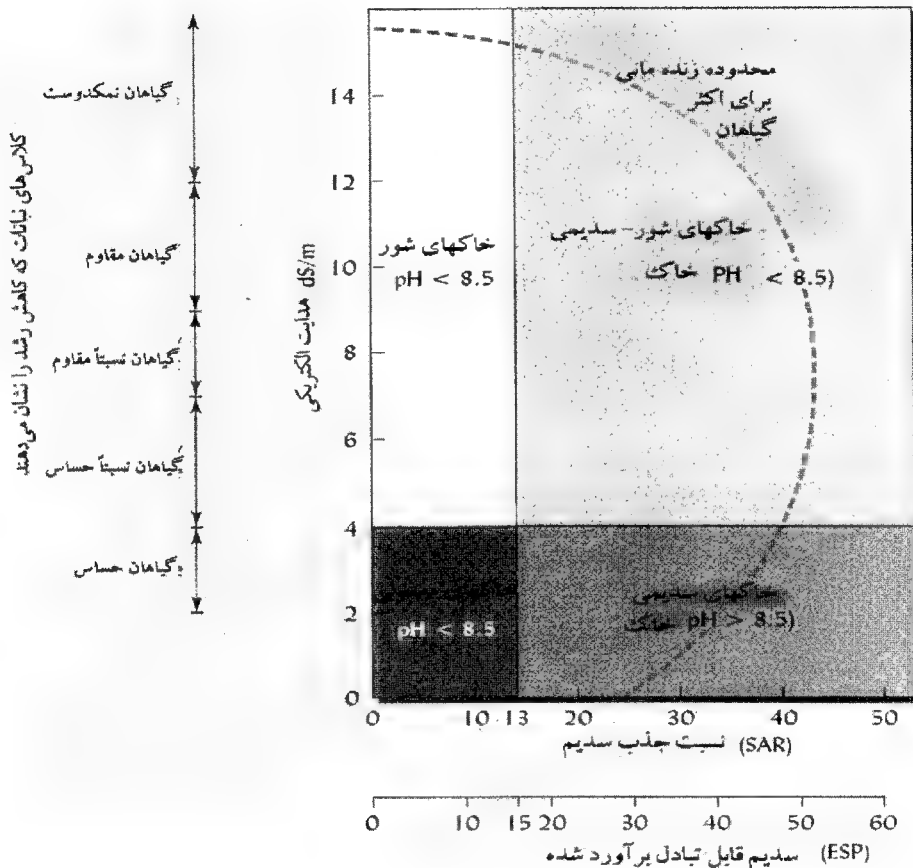
نسبت جذب سدیم SAR خصوصیت دوم است که با سهولت بیشتر اندازه‌گیری می‌شود و کاربرد آن از ESP بیشتر شده است. نسبت جذب سدیم (SAR) اطلاعاتی در مورد غلظت نسبی یون‌های Na^+ ، Ca^{2+} و Mg^{2+} در محلول خاک ارائه می‌دهد این خصوصیت به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$SAR = \frac{[Na^+]}{\sqrt{\frac{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]}{2}}}$$

که در آن $[Na^+]$ ، $[Ca^{2+}]$ و $[Mg^{2+}]$ به ترتیب عبارت از غلظت یون‌های سدیم، کلسیم و منیزیم (برحسب میلی‌مول در لیتر) در محلول خاک می‌باشند. SAR عصاره‌ی اشباع خاک این نکته را مورد توجه قرار می‌دهد که اثرات منفی یون سدیم به‌وسیله‌ی وجود یون‌های کلسیم و منیزیم در محلول خاک متعادل‌تر می‌شود. SAR همچنین برای مشخص کردن وضعیت آب‌آبیاری مصرف‌شده در این خاک‌ها به‌کار می‌رود.

۵-۱۰ کلاس‌های خاک‌های مبتلا به شوری

با استفاده از خصوصیات EC، ESP، SAR و pH خاک، خاک‌های مبتلا به نمک به خاک‌های شور، خاک‌های شور سدی و خاک‌های سدی تقسیم‌بندی می‌شوند (شکل ۷-۱۰). این کلاس‌ها به ترتیب مورد ملاحظه قرار می‌گیرند.



شکل ۷-۱۰ نموداری که تقسیم‌بندی خاک‌های معمولی، شور، سدی و شور و سدی را در ارتباط با pH، EC، SAR و ESP تشریح می‌کند. و حساسیت نباتات به شوری نیز نشان داده شده است.

خاک‌های شور

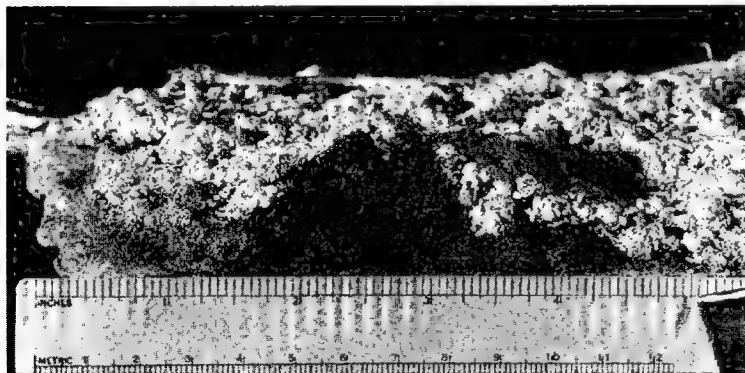
فرایند طبیعی که منجر به تجمع نمک‌های محلول خشی می‌گردد، شور شدن^۱ نامیده می‌شود. نمک‌ها معمولاً کلور و سولفات سدیم، کلسیم، منیزیم و پتاسیم می‌باشند. خاک‌های شور حاوی غلظت‌های کافی از این نمک‌ها برای دخالت در رشد اکثر گیاهان می‌باشد. هدایت الکتریکی عصاره‌ی اشباعی محلول خاک بیشتر از ۴ دسی‌زیمنز در متر است ($>4dS/m$). نمک‌ها به‌وسیله‌ی فرایند تبخیر به سطح خاک آمده و سبب ایجاد یک پوسته سفید، که علت اطلاق نام قلیایی سفید^۲ در بعضی مواقع برای مشخص کردن این خاک‌ها است، می‌گردد (شکل ۸-۱۰). همتافت تبادلی خاک‌های شور عمدتاً به‌وسیله‌ی کلسیم و منیزیم غالب گردیده است، در نتیجه درصد سدیم قابل‌تبادل (ESP) کمتر از ۱۵ و pH معمولاً کمتر از ۸/۵ می‌باشد.

^۱ - Salinization

^۲ - White alkali

غلظت یون Na^+ در محلول خاک‌های شور به دلیل حضور نمک‌های محلول که معمولاً دارای سدیم بالا می‌باشند از غلظت Ca^{2+} و Mg^{2+} مقداری بیشتر است. گرچه به‌خاطر تمایل بیشتر کلویدهای خاک برای جذب یون‌های دوظرفیتی مانند Ca^{2+} و Mg^{2+} مقدار SAR خاک‌های شور کمتر از ۱۳ می‌باشد.

رشد نباتات در خاک‌های شور معمولاً بر اثر شرایط فیزیکی نامناسب خاک دچار محدودیت نمی‌شود. نمک‌های محلول از پراکنده شدن کلویدهای خاک ممانعت می‌کنند، چه، درغیراین صورت در اثر مقادیر زیاد سدیم تشدید می‌گردید (بخش ۹ را مشاهده کنید). ثبات خاکدانه‌ها و تهویه مناسب حاصل شوری خاک می‌باشد.



شکل ۸-۱۰ قسمت پایین عکس: لکه‌های قلیایی سفید در یک مزرعه بونجه تحت آبیاری. به دلیل صعود مویینه و تبخیر، نمک‌ها به سطح خاک آورده شده و در آنجا تجمع یافته‌اند. (قسمت بالای عکس) پوسته‌های سفید در یک خاک شور در کلرادو. نمک‌های سفید در تعارض با رنگ‌های تیره خاک زیر خود می‌باشد. مقیاس بر حسب اینچ و سانتی‌متر است.



خاک‌های شور و سدیمی

این خاک‌ها دارای خصوصیات حد واسط در بین خاک‌های شور و سدیمی می‌باشند (شکل ۷-۱۰). همانند خاک‌های شور آنها دارای مقادیر قابل توجهی از نمک‌های قابل انحلال ختی، آن‌چنان‌که EC_e بالاتر از ۴ دسی‌زیمنز در متر نشان می‌دهد، می‌باشند. اما آنها دارای درصد سدیم قابل تبادل بالاتر از ۱۵ و نسبت سدیم قابل جذب حداقل ۱۳ نیز هستند. رشد نباتات می‌تواند به‌طور منفی تحت تأثیر هم نمک‌های زیادی و هم میزان سدیم قرار گیرد.

شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک‌های شور و سدیمی نسبتاً شبیه خاک‌های شور است، و این به‌خاطر تأثیرات متعادل‌کننده نمک‌های ختی می‌باشد. این نمک‌ها سبب ارایه کاتیون‌های زیادی هستند که در نزدیکی بارهای منفی ذرات کلویید حرکت می‌کنند. بنابراین، تمایل کلوییدها را برای دفع یکدیگر و یا پراکندگی کاهش می‌دهند. نمک‌ها سبب می‌شوند که ذرات کلوییدی با یکدیگر در تشکیل خاکدانه‌ها شرکت داشته باشند.

متأسفانه، این وضعیت در صورت آبیروی نمک‌ها از خاک در معرض تغییر سریع قرار می‌گیرد، به‌خصوص اگر آب مورد مصرف برای آبیروی نمک‌ها حاوی Na^+ زیاد و یا به‌عبارت دیگر دارای SAR بالا باشد. بنابراین، میزان سدیم قابل تبادل و همچنین pH خاک افزایش می‌یابد (بالاتر از ۸/۵). از آنجا که Na^+ در سطح ذرات کلویید بسیار نزدیک جذب نشده‌اند، بار منفی خالص ذرات کلوییدی سبب دفع ذرات به‌وسیله همدیگر، و پراکندگی آن‌ها، و بنابراین تخریب خاکدانه‌ها می‌شود (شکل ۹-۱۰). کلوییدهای پراکنده‌شده در حین حرکت به‌طرف پایین در خاک‌رخ منافذ خاک را مسدود کرده، نفوذ آب در خاک بسیار کاهش یافته، و شرایط گله‌خراشی که ویژگی خاک‌های سدیمی است، ظاهر می‌شود.

خاک‌های سدیمی

شرح مختصر قبلی چگونگی تشکیل خاک‌های سدیمی، مشخص می‌سازد که آن‌ها مسأله‌دارترین خاک‌های مبتلا به نمک‌ها می‌باشند. درحالی‌که میزان نمک‌های محلول ختی در آن‌ها پایین است ($EC_e < 4dS/m$)، مقادیر ESP آن‌ها از ۱۵ و مقدار SAR آن‌ها از ۱۳ بالاتر است، و این نشانه مقدار نسبتاً بالای سدیم در روی هم‌تافت جذب می‌باشد. مقدار pH خاک‌های سدیمی از ۸/۵ بالاتر بوده و در بعضی از خاک‌ها به ۱۰ و یا بیشتر می‌رسد. pH بالا عمدتاً به‌خاطر آیکافت کربنات سدیم است.



هم‌تافت سدیم نیز در معرض آیکافت قرار می‌گیرد

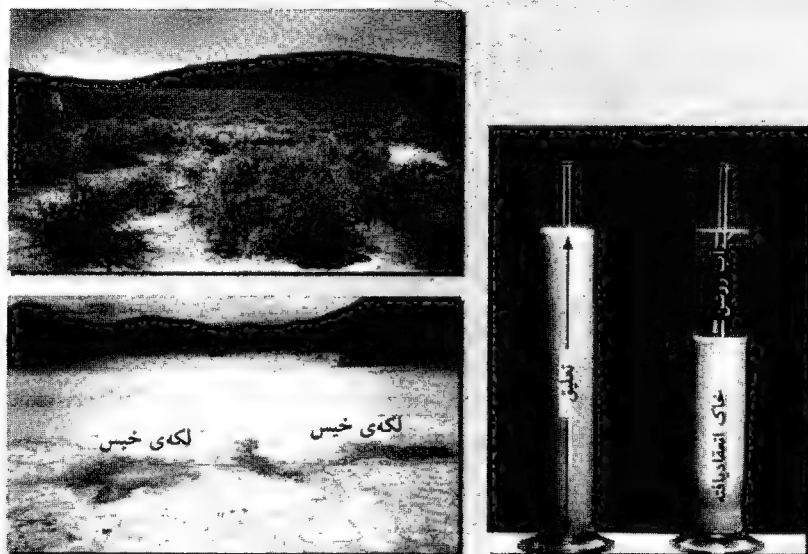


گیاهان محدودی این شرایط را تحمل می‌کنند. رشد نبات در این خاک‌ها بر اثر سمیت Na^+ ، OH^- و HCO_3^- ، و همین‌طور خصوصیات نامناسب فیزیکی و نفوذپذیری کم آب دچار محدودیت می‌شود (شکل ۱۰-۱۰).

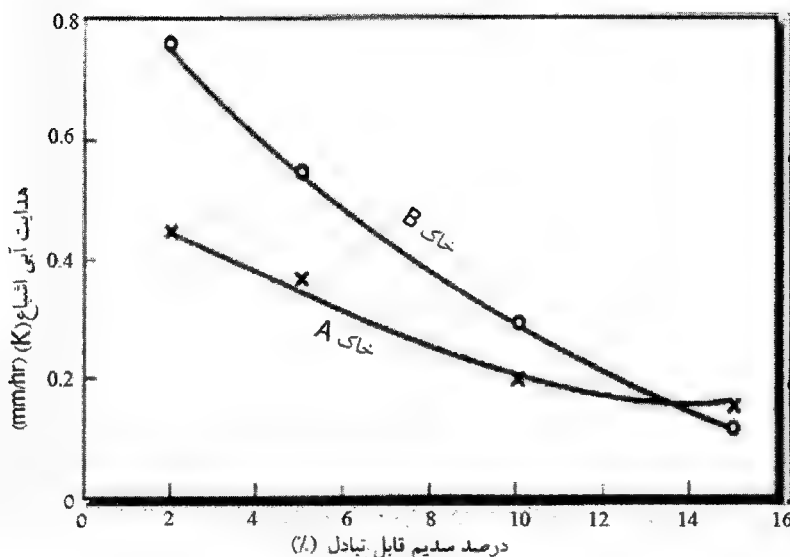
به‌خاطر قلیابیت شدید حاصل از مقدار سدیم زیاد، سطح خاک سدیمی به‌وسیله هموس پراکنده شده که با آب موینه بالا آمده و بر اثر تبخیر رسوب یافته است، تیره رنگ می‌باشد. بنابراین نام قلیایی سیاه^۱ برای تشریح این خاک‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. در بعضی مواقع این خاک‌ها در منطقه کوچکی که نقاط براق^۲ نام دارند، قرار گرفته‌اند. خاک‌های سدیمی ممکن است با خاک‌هایی که نسبتاً حاصل‌خیز باشند محاصره شده باشند.

^۱ - Black Alkali

^۲ - Slick Spots



شکل ۹-۱۰ تشریح پراکندگی کلویدها در یک خاک سدیمی در جنوب کلرادو. خاک سدیمی (عکس چپ پایین) در مقایسه با خاک قلیایی اما غیرسدیمی مجاور (عکس چپ سمت بالا) عاری از پوشش می‌باشد. به‌خاطر پراکندگی کامل کلویدهای خاک، همان‌طور که نقطه مرطوب در مرکز عکس سمت چپ پایین مشخص می‌کند، آب از داخل خاک‌های سدیمی با آهستگی حرکت می‌کند. برای بررسی پراکندگی رس نمونه‌های از خاک رسی در استوانه قرار داده و با آب به‌طور کامل مورد تکان‌دادن قرار گرفتند. رس‌ها به‌شدت پراکنده شدند و ته‌نشست قابل‌مشاهده‌ای در طول سه هفته مشاهده نشد (سیلندر سمت چپ). برای تقویت انعقاد (به‌هم‌پیوستن ذرات) ذرات رس یک فاشق نمک آشپزخانه (NaCl) به استوانه سمت راست اضافه گردید و مخلوط مجدداً به‌طور کامل تکان داده شد. انعقاد شروع و بعد از ۲۴ ساعت مقدار آن قابل‌ملاحظه گردید (استوانه‌ی سمت راست). نمک سبب تقویت انعقاد گردید که در خاک، قدم اول خاکدانه‌سازی، زه‌کشی و تهویه بهتر می‌باشد. این آزمایش، خصوصیات تأسف بار قیزیکی خاک‌های سدیمی را به نمایش می‌گذارد و همچنین نشان می‌دهد که نمک‌ها در خاک‌های شور و سدیمی از پراکندگی نامطلوب کلویدهای خاک که اثرات نامطلوب خاک‌های سدیمی بیشتر مربوط به آن است، ممانعت کنند.



شکل ۱۰-۱۰ تأثیر افزایش ESP بر روی هدایت آبی اشباع دو نوع خاک در ایتالیا. به کاهش مرتب هدایت آبی با افزایش ESP و آب‌گذری بسیار کم در ESP مساوی ۱۵ توجه کنید

۱۰-۶ رشد نباتات در خاک‌های شور و خاک‌های سدیمی

نباتات به خاک‌های مبتلا به نمک از راه‌های مختلفی عکس‌العمل نشان می‌دهند. غلظت بالای نمک‌های محلول از طریق اثر آن‌ها بر روی پتانسیل اسمزی (فصل ۳-۵ را مطالعه کنید)، سبب کاهش رشد نباتات در خاک‌های شور و شور و سدیمی می‌شود. سلول‌های ریشه

در تماس با محلول خاک غنی از نمک‌ها آب خود را از طریق اسمز به محلول غلیظ‌تر آب خاک از دست می‌دهند، سپس سلول ریشه متلاشی می‌شود. نوع نمک، گونه‌های گیاهی و میزان نمکی شدن عواملی هستند که غلظتی را که در آن سلول از پای در می‌آید، مشخص می‌سازند. شرایط فیزیکی نامناسب (حرکت محدود آب‌وهوا) در بعضی از خاک‌های شور-سدیمی ممکن است عامل تعیین‌کننده در نوع نباتی باشد که در این خاک‌ها می‌تواند رشد کند.

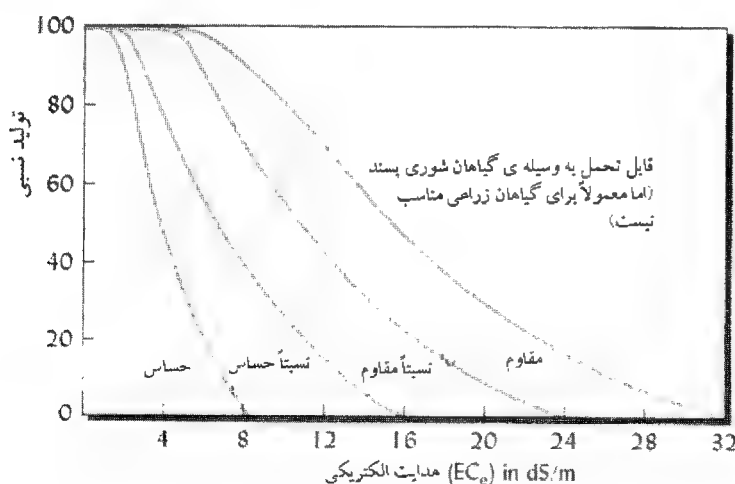
خاک‌های سدیمی اثرات زیان‌بار خود را بر گیاهان از ۵ طریق اعمال می‌کنند: (۱) اثرات حاصل از pH بالا ناشی از کربنات و بی‌کربنات سدیم (۲) سمیت حاصل از بی‌کربنات و دیگر آنیون‌ها (۳) اثرات منفی یون سدیم بر سوخت‌وساز و تغذیه گیاهان (۴) قابلیت استفاده اندک عناصر کم‌مصرف به دلیل pH بالا و (۵) کمبود اکسیژن ناشی از تخریب ساختمان خاک.

۷-۱۰ مقاومت انتخابی گیاهان به خاک‌های شور و خاک‌های سدیمی

رشد رضایت‌بخش گیاهان در خاک‌های نمک‌دار در ارتباط با شماری عوامل وابسته به یکدیگر، از جمله ساختمان فیزیولوژیکی نبات، مرحله‌ی رشد و شیوه ریشه‌دوانی آن می‌باشد. جالب توجه است اگر اشاره شود که بوته‌های یونجه پیر به خاک‌های نمک‌دار بیشتر مقاوم می‌باشند تا نباتات جوان آن، و نیام‌داران ژرف^۱ ریشه مقاومت بیشتری درمقایسه با نیام‌داران سطح^۲ ریشه در خاک‌های نمک‌دار نشان می‌دهند. خصوصیات خاک از جمله سرشت نمک‌های مختلف، مقدار نسبی، غلظت کل و توزیع آن‌ها در خاک‌رخ باید مورد ملاحظه قرار گیرد. ساختمان خاک و شرایط زه‌کشی و تهویه آن نیز مهم می‌باشند.

حساسیت نباتات

درحالی‌که پیش‌بینی درست مقاومت گیاهان در خاک‌های نمک‌دار مشکل است، آزمایش‌های مختلف طبقه‌بندی گیاهان اهلی شده را در چهار گروه کلی بر اساس مقاومت آن‌ها به شوری ممکن ساخته است. شکل ۱۱-۱۰ توان تولیدی نسبی این گروه‌ها را تحت تأثیر شوری خاک اندازه‌گیری شده در عصاره‌ی اشباعی خاک (ECe) نشان می‌دهد. جدول ۳-۱۰ فهرستی از بسیاری نباتات را بر اساس این طبقه‌بندی ارائه می‌دهد. توجه داشته باشید که درختان، بوته‌ها، میوه‌ها و سبزی‌ها و گیاهان زراعی در دسته‌های مختلف مقاومت آمده‌اند.



شکل ۱۱-۱۰ توان تولیدی نسبی چهار گروه از نباتات بر اساس حساسیت آن‌ها به شوری اندازه‌گیری شده به وسیله‌ی هدایت الکتریکی. دسته‌بندی نباتات در جدول ۳-۱۰ نشان داده شده است.

به این فهرست گونه‌های اهلی باید دو منبع دیگر از نباتات دارای توان رشد در خاک‌های نمکی اضافه گردد که عبارتند از (۱) گیاهان نمک‌دوست^۳ و وحشی (۲) ارقام مقاوم به نمک که به وسیله‌ی اصلاح‌کنندگان نباتات زراعی تکامل یافته‌اند. تعدادی از گیاهان نمک‌دوست یافت می‌شوند که کاملاً مقاوم به نمک‌ها بوده و دارای خصوصیتی می‌باشند که می‌تواند آن‌ها را برای مصرف انسانی و/یا حیوانی مفید سازد. گرچه ممکن است آن‌ها مقادیر زیادی نمک را در ساقه‌ها و برگ‌های خود جمع کنند. اما بذر آن‌ها از نظر پروتئین و چربی چندان متفاوت با گیاهان اهلی نمی‌باشد.

^۱ - Deep-rooted legumes

^۲ - Shallow-rooted legumes

^۳ - Wild halophytes

جدول ۳-۱۰ مقاومت نسبی گیاهان خاص به خاک‌های شور

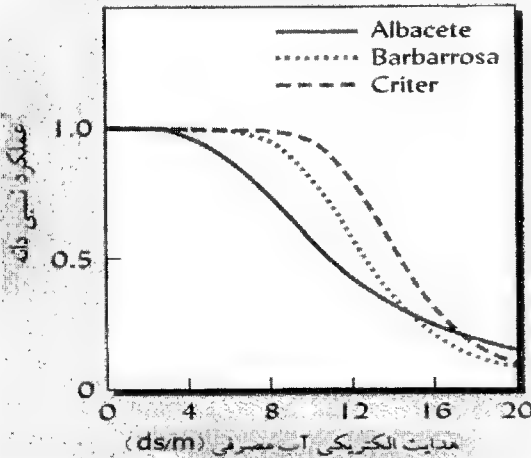
مقاوم	مقاومت متوسط	حساس متوسط	حساس
جو (دانه ای)	زبان گنجشک (سفید)	یونجه	بادام
چمن برمودا (مرغ)	صنوبر لرزان ^(۳۳)	اربرویت ^(۱)	سیب
گیلاس سیاه	جو علوفه ای	شمشاد ^(۳)	زردآلو
بوگاین ویلا ^(۲)	درخت غان (سیاه)	لویا پهن	آزالیا
سدر (قرمز)	چغندر معمولی	کلم گل	راش
پنبه	کلم بروکسل	کلم معمولی	لویا
خرما	چمن جارویی ^(۴)	کرفس	غان
نارون	آکاسیاکت لاد ^(۳۴)	شیدرالسیک ^(۸)	توت سیاه
آفاقیا	گاو دانه	لادینو قرمز ^(۱۲)	توت بوینسن ^(۵)
گوجه ناتال ^(۶)	فستوکا بلند	توت فرنگی	بور فورد هولی ^(۹)
علف فلیایی نوتال ^(۱۰)	انجیر	شیدر برسیم	هویج
بلوط (قرمز و سفید)	علف هاردینگ ^(۷)	ذرت	کرفس
زیتون	هانی ساکل ^(۱۱)	خیار	درخت سگ ^(۱۵)
کوخای خوابیده	هیدرانجا ^(۱۳)	چمن دالاس ^(۲۰)	نارون امریکایی
علف رهایی ^(۱۶)	اُرس ^(۱۴)	انگور	گریب فروت
رزماری ^(۱۸)	کال ^(۱۷)	گردوی آمریکایی (پوست خشن) ^(۳۵)	شوکران
رگوزا ^(۱۹)	آفاقیا (سیاه)	اُرس	بامیه
چمن شور ^(۲۲)	نارنگی	افرای قرمز ^(۳۶)	لارچ ^(۲۱)
گز	چمن علف باغ	کاهو	لیمو
علف گندمی تاج‌دار (صلیبی)	یولاف	نخود	لیندن ^(۳۳)
علف گندمی فایروی ^(۲۵)	انار	بادام زمینی	افرای شکری ^(۳۷)
علف گندمی بلند	پریوت ^(۲۴)	ترب	پیاز
چاودار وحشی (التای) ^(۲۶)	چاودار (علوفه)	برنج	پرتقال
چاودار روسی	چمن چاودار (دایمی)	کدو	هلو
بید	گلرنک	نیشکر	گلایی
-	ذرت خوشه‌ای (سورگوم)	شیدر شیرین	کاج (سرخ - سفید)
-	لویا روغنی	سیب زمینی شیرین	آناناس
-	کدو زوچینی ^(۲۷)	تیموتی	گوجه
-	علف سودان	شلغم	سیب زمینی
-	شیدر (سه‌پر-پنجه‌مرغی)	خلر-ماش	راسپ بری ^(۲۸) (تمشک سوهانی)
-	گندم	ویرنوم ^(۳۲)	گل سرخ
-	علف گندم غربی	یاسمن ستاره ای ^(۳۰)	توت فرنگی
-	-	گوجه فرنگی	گوجه فرنگی

1)Arborvitae 2)Bougainvillea 3)Box weed 4)Brome grass 5)Boysenberry 6)Natal plum 7)Harding grass
8)Clover/ Alsik 9)Burford Holly 10)Natal Alkali Grass 11)Honeysuckle 12)Clover Ladino,Red 13)Hydrangea
14)Juniper 15)Dog wood 16)Rescue grass 17)Kale 18)Rose mary 19)Rugosa 20)Dallis grass 21)Larch
22)Salt grass 23)Linden 24)Privet 25)Wheat grass Fair Way 26)Wild rye altai 27)Squash,Zucchini
28)Rasp berry 29)Timothy 30)Star yasmine 31)Sugar Maple 32)Viburnum 33)Aspen 34)Catlaw Acacia
35)Hickory(Shagbark) 36)Maple (قرمز) 37)Maple(Sugar)

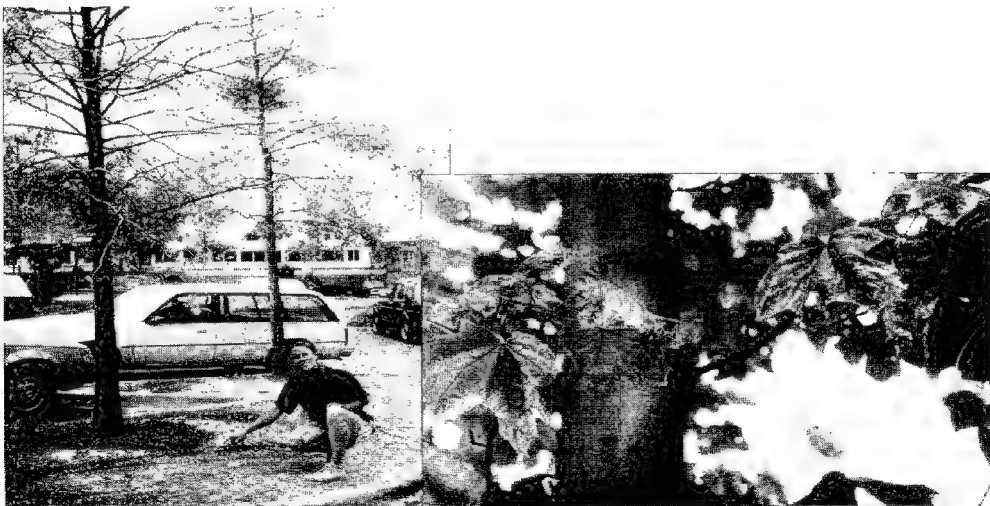
متخصصین اصلاح نبات قادر به معرفی ارقام جدیدی شده‌اند که مقاومت آن‌ها به شوری بیشتر از ارقام معمولی می‌باشد. مثالی به‌وسیله‌ی اطلاعات موجود در شکل ۱۲-۱۰ نشان داده شده است که بیانگر تولید بالاتر در ارقام اصلاح شده جو می‌باشد. انتخاب نباتات و اصلاح آن‌ها باید یکی از اهداف آبی برای حفظ، و یا حتی افزایش تولید محصولات غذایی بر روی خاک‌های نمک‌دار باشد. گرچه اصلاح مقاومت گیاهان نباید به‌عنوان جانشینی برای برنامه‌های مناسب جلوگیری شوری تلقی گردد.

مسایل شوری بدون ارتباط با اقلیم خشک

در شهرها که نمک‌های ذوب یخ در مقادیر زیاد در طول ماه‌های زمستان به‌کار می‌رود، ممکن است بر روی خاک‌ها و گیاهان کنار جاده دارای اثراتی باشد. استفاده مکرر از نمک‌های ذوب یخ می‌تواند میزان شوری را چنان بالا برد که در رشد درختان در کنار یک بزرگراه نمک‌پاشی شده و یا در کنار یک پیاده‌رو تأثیر منفی داشته باشد. شکل ۱۳-۱۰ خسارت ناشی از این عملیات را نشان می‌دهد برای اجتناب از مسایل فیزیکی و شیمیایی خاص همراه با نمک‌های سدیم بسیاری از شهرنشینان از NaCl به KCl روی آورده‌اند. برخلاف شوری در مناطق خشک، چنین آلودگی نمک معمولاً موقتی بود. زیرا باران زیاد این نمک‌ها را در طول چند هفته و یا ماه آبشویی می‌کند. شوری در گیاهان گلدانی به‌خصوص در گیاهان چندساله که برای مدت طولانی در همان گلدان باقی می‌مانند، می‌تواند مسأله‌ساز باشد. اگر آبشویی نمک‌های موجود در آب و هم چنین در کودهای شیمیایی گاه‌به‌گاه آن‌ها مورد توجه قرار نگیرد، می‌تواند در خاک تجمع یابند



شکل ۱۲-۱۰ مقاومت سه رقم جو به شوری آب مصرف شده برای رشد آن‌ها به‌طور معنی‌داری متفاوت می‌باشد. چنین اختلافات توارثی می‌توانند در اصلاح گونه‌های دارای مقاومت بیشتر به شوری مفید واقع شوند.



شکل ۱۳-۱۰ در طول ماه‌های زمستان در بعضی از مناطق معتدل کلرور سدیم و سایر نمک‌ها برای ذوب برف و یخ خیابان‌ها و پیاده‌روهای اطراف آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. مصرف زیاد این مواد شیمیایی می‌تواند صدمات شوری به گیاهان، مشابه به آنچه در خاک‌های شور مناطق خشک تجربه شده است وارد کند. (سمت چپ) تراکم موضعی نمک در اثر تل‌انبارشدن برف نمک‌زده در کنار یک جاده. (سمت راست) صدمه وارده به برگ ناشی از جذب نمک اضافی به‌وسیله‌ی گیاه.

۸-۱۰ مدیریت خاک‌های شور و سدیمی

اولین نیاز برای مدیریت عاقلانه خاک‌های مبتلا به نمک، آگاهی درمورد مقدار و سرشت نمک‌های افزوده و خارج شده از خاک می‌باشد. در مناطق تحت آبیاری، این به معنی دانستن کیفیت آب آبیاری و وضعیت زه‌کشی است.

ملاحظات مربوط به کیفیت آب

کیفیت آب اضافه شده به خاک‌های نمک‌دار مهم‌ترین وسیله مدیریت می‌باشد. برای مثال، اگر آب دارای نمک خیلی کمی باشد، مانند آب باران، سبب تسریع در تبدیل یک خاک شور-سدیمی به خاک سدیمی می‌شود. آب باران نه تنها سبب آبشویی نمک‌های محلول در چند سانتی‌متری فوقانی خاک می‌گردد، بلکه با ضربات ناشی از قطرات پراکندگی کلویدهای خاک را باعث می‌شود، که قدم اولیه در فرایند توسعه‌ی خاک‌های سدیمی می‌باشد.

اگر میزان نمک آب آبیاری خیلی زیاد باشد و به خصوص اگر SAR آب نیز بالا باشد، فرایند تشکیل خاک‌های سدیمی تسریع خواهد یافت. حضور بی‌کربنات‌ها در آب آبیاری نیز همچنین می‌تواند یون‌های Ca^{2+} و Mg^{2+} را در محلول خاک با رسوب دادن آن‌ها به صورت کربنات‌های غیرمحلول کاهش دهد. این خصوصیات آب آبیاری می‌تواند سبب افزایش SAR محلول خاک و حرکت خاک به سوی خاک سدیمی گردد.

کیفیت و وضعیت پساب‌های آبیاری به خاطر توان زیان‌رسانی آن‌ها به بهره‌برداران و زیستگاه‌های پایاب رودخانه باید مورد نظارت دقیق قرار گیرد. زهاب حاصل از یک شبکه‌ی آبیاری، که ممکن است از نظر نمک‌ها و وجود یک و یا چند عنصر دارای غلظت بالا باشد، احتمال دارد که وارد یک نهر شده و در مناطق پایین دست مورد استفاده قرار گیرد. برای نمونه، در بعضی مناطق در غرب آمریکا مقادیر سمی عناصر کمیاب مانند سلنیم، مولیبدن، و بر در اراضی مرطوب پایین رودخانه و یا استخرهای تبخیری تجمع یافته‌اند. تابلو ۱-۱۰ نشان می‌دهد که چنین تمرکزهایی چگونه صورت می‌گیرد. جدول ۴-۱۰ مطرح می‌کند که گیاهانی که در این مناطق آلوده رشد می‌کنند، می‌توانند مقداری از این عناصر را که برای دام‌های اهلی و/یا وحشی زیان‌بار می‌باشند، برداشت کنند. سمیت سلنیم، به خاطر خسارت آن به پرندگان آب‌زی در بخش‌هایی از کالیفرنیا شناخته شده است.

میزان نمک‌های محلول منابع مختلف آب با همدیگر بسیار متفاوت می‌باشند. اطلاعات مربوط به شماری از منابع آب از آب‌های آبیاری دارای کیفیت خوب تا آب‌های اقیانوس کبیر در جدول ۵-۱۰ نشان داده شده است. توجه داشته باشید که حتی رودخانه کلرادو دارای میزان نمک چنان بالایی است که استفاده‌کنندگان را از نیاز به مدیریت عاقلانه آبیاری برای حفظ کیفیت خاک آگاه می‌سازد. در واقع هنگامی که رودخانه کلرادو به مرز آمریکا/مکزیک می‌رسد میزان بار نمک آن از نظام‌های آبیاری بالادست و مصارف خانگی و صنعتی چنان بالاست که یک کارخانه‌ی عظیم زدودن شوری آب ساخته شده است تا آمریکا بتواند به تمهیدات پیمان خود با مکزیک جامه‌ی عمل بپوشاند. تا حال استفاده از این کارخانه لازم نبوده است، زهاب از نظام‌های آبیاری مناطق پایین آمریکا (دره‌ی ولتون موهاوک^۱) با نهری که به موازات رودخانه‌ی کلرادو می‌باشد به دریای کورتر انتقال یافته است. این بیانگر پاره‌ای از اثرات زیست‌محیطی آبیاری است که در بعضی از نقاط جهان تجربه گردیده است.

جدول ۴-۱۰ مقادیر مولیبدن، سلنیم، در سه گونه‌ی علف مقاوم به شوری که در یک خاک خیلی شور که مقادیر زیادی از پس‌مانده‌های آبیاری (زهاب) را در دره سن‌واکین^۲ در کالیفرنیا دریافت داشته است. حد بالا (ایمنی) برای مصرف حیوانات (مقدار سمیت بالقوه) نیز نشان داده شده است.

عناصر کمیاب	میزان سمیت بالقوه mg/kg	مقدار در علفونه		
		*چمن گندمی بلند	**علف قلیایی	***گون
مولیبدن	۵	۲۶	۱۰	۱۸
سلنیم	۵	۱۲	۹	۶۷۰

* Tall wheatgrass ** Alkali sacation

*** *Astragalus racemosus*

^۱ - Welton - Mohawk valley

^۲ - San Joaquin valley

تابلو ۱-۱۰ سلنیم در خاک‌های تحت آبیاری

استفاده از آب آبیاری دارای سلنیم می‌تواند سبب تجمع سلنیم در مقادیر سمی در خاک‌ها و در پساب آبیاری حاصل از این خاک‌ها گردد. سلنیم در گیاهانی که بر روی این خاک‌ها می‌رویند و یا در مناطق مرطوب نزدیک آن‌ها که پساب در آن‌جا دفع می‌گردد، تمرکز می‌یابد.

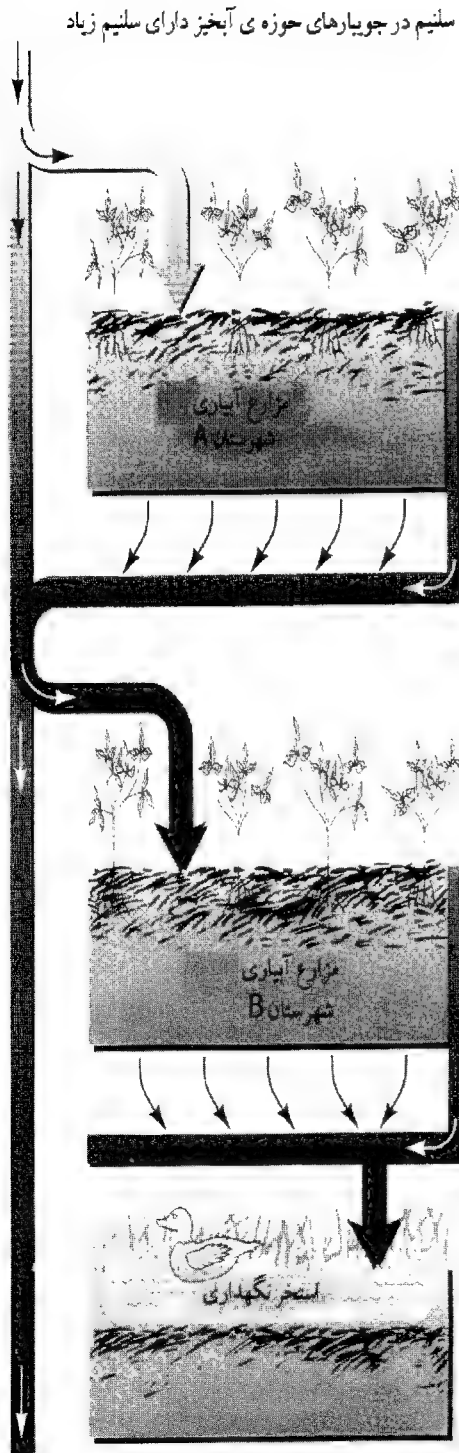
در بعضی مناطق غرب آمریکا رسوبات دریاچه‌ای و پلمه‌سنگ‌های از دوره کرتاسه یافت می‌شوند که از سلنیم زیادی برخوردارند.

در شرایط قلیایی و زه‌کشی مناسب فرم سلنات (SeO_4^{2-}) سلنیم فراوان است. سلنات بسیار شبیه سولفات در آب محلول بوده و به آسانی برای جذب گیاهان قابل استفاده می‌باشد. آن‌ها از حوزه‌های آب‌خیز که دارای سلنیم زیادند به داخل رودخانه و یا نهرهای انتقال آب آبیاری وارد می‌شوند.

در نقاشی تشریح شده است که چگونه استفاده مجدد از آب‌های آبیاری دارای سلنیم زیاد می‌تواند مسایل حاد زیست‌محیطی را به‌بار آورد. جویبارهای حوزه‌های آب‌خیز دارای سلنیم زیاد آب آبیاری را برای شهرستان A تأمین می‌کند. مقدار سلنیم در آب آبیاری (که با پهنای پیکان نشان داده شده است) بالا است اما چنان نیست که سبب مسایل زیست‌محیطی گردد.

با تبخیر و تفرق آب آبیاری، سلنیم در داخل خاک و پساب‌های زهاب حاصل از آن تمرکز پیدا می‌کند. این زهاب به رودخانه‌ای که برای شهرستان B آب آبیاری تأمین می‌کند برمی‌گردد و یا پمپاژ می‌شود. این فرایند تکرار گشته و سلنیم در داخل خاک و آب آبیاری تمرکز می‌یابد (رنگ تیره‌تر) به‌صورتی که دیگر برای آبیاری قابل استفاده نیست. سپس آب به داخل اراضی مرطوب و یا استخرهای کم عمق نزدیک پمپاژ می‌شود، در هر دو مورد بخش اعظم آب تبخیر یافته و سبب باقی‌ماندن سلنیم در آب و خاک منطقه نگهداری آب می‌شود. گیاهانی که در این باتلاق‌ها و یا اراضی ماندابی می‌رویند سلنیم را جذب کرده و میزان آن در بافت نباتی چنان بالا می‌رود که برای حیوانات مزرعه و حیات وحش سمی می‌شود. تغییر شکل و مرگ پرندگان مهاجر در اثر چنین میزان بالای سلنیم حاصل شده است. همین‌طور ممکن است احشام یا خوردن گیاهان دارای سلنیم زیاد در معرض سمیت سلنیم قرار گیرند.

اقداماتی برای کاهش و حذف رهاکردن آب‌های دارای سلنیم به اراضی ماندابی به‌عمل آمده است. محققین به دنبال گیاهانی هستند که بتوانند سلنیم زیادی از اراضی استخراج کرده و سپس از بین برده شوند. سایر تحقیقات نشان داده‌اند که بعضی از ریزجانداران می‌توانند سبب تشکیل ترکیبات گازی فرار سلنیم گردند که به آرامی وارد نیسوار می‌شود. اثرات زیست‌محیطی سلنیم با توجه به اثرات آن‌ها در روی تمام موجودات زنده مدیریت آب و خاک را خاطر نشان می‌سازد.



اهداف مدیریتی: هدف اولیه در مدیریت خاک‌های نمک‌دار، کم کردن محدودیت‌های تولید محصولات، یعنی نمک‌های محلول اضافی و سدیم قابل تبادل خاک است. از بین بردن این موانع سبب ایجاد تغییرات متعدد فیزیکی و شیمیایی می‌شود که خاک را به حالت تولید بیشتر باز می‌گرداند. بنابراین، کل فرایند تحت عنوان اصلاح^۱ خاک‌ها نامیده می‌شود. اصلاح خاک‌های مبتلا به نمک عملاً به مقدار زیادی در ارتباط با وجود آب آبیاری کافی با کیفیت خوب برای آبتشویی املاح از خاک می‌باشد. در مناطقی که آب آبیاری وجود ندارد مانند نشت آب شور دریا در ایالت‌های شمالی دشت‌های بزرگ، آبتشویی املاح عملی نیست. در این مناطق باید نباتات با ریشه ژرف برای پایین بردن سطح آب زیرزمینی و جلوگیری از حرکت روبه بالای نمک کاشته شوند.

۹-۱۰ اصلاح خاک‌های شور

خارج ساختن نمک‌های اضافی از خاک‌های شور نیازمند دسترسی به آب آبیاری کافی با نسبت پایین SAR و وجود نظام زه‌کشی داخلی مؤثر است که بتواند آب حاوی نمک را پس از آبتشویی نمک‌ها از داخل خاک عبور دهد. اگر زه‌کشی طبیعی زمین برای تطابق با میزان زه آب ناکافی باشد، باید یک شبکه‌ی زه‌کشی مصنوعی نصب گردد. استعمال متناوب آب آبیاری اضافی ممکن است برای کاهش مؤثر مقدار نمک خاک به میزان مورد نظر لازم باشد. این فرایند می‌تواند با اندازه‌گیری EC خاک با استفاده از روش عصاره‌ی اشباعی و یا اندازه‌گیری با روش‌های صحرایی مورد نظارت قرار گیرد.

مقدار آب لازم برای خارج کردن نمک‌های اضافی از خاک‌های شور که نیاز آبتشویی (LR)^۲ نامیده می‌شود با توجه به خصوصیات نبات کاشته شده، آب آبیاری و خاک تعیین می‌شود. مقدار تقریبی LR در خاک‌ها با شرایط شوری یکنواخت به وسیله‌ی نسبت شوری آب آبیاری (بر حسب هدایت الکتریکی آن EC_{iw}) به حداکثر شوری قابل قبول خاک برای نبات کاشته شده (بر حسب هدایت الکتریکی زهاب EC_{dw}) بیان می‌شود.

$$LR = EC_{iw} / EC_{dw}$$

LR عبارتست از آب اضافه‌تر از آنچه برای مرطوب کردن سرتاسر خاک و تأمین نیازهای تبخیر و تعرق لازم است. توجه داشته باشید اگر EC_{iw} بالا بوده و حساسیت بالای گیاه مورد نظر برای کشت لازمه EC_{dw} پایین باشد، LR بزرگی حاصل خواهد شد. مثالی از چگونگی محاسبه LR در تابلو ۲-۱۵ ارائه شده است.

خارج کردن زهاب پس از انجام آبتشویی خاک باید مورد توجه قرار گیرد. اگر این آب بدون ایجاد خطر شوری و یا آلودگی نتواند به یک رودخانه و یا یک نهر برگردانده شود باید سایر راه‌ها را برای دفع آن در نظر گرفت.

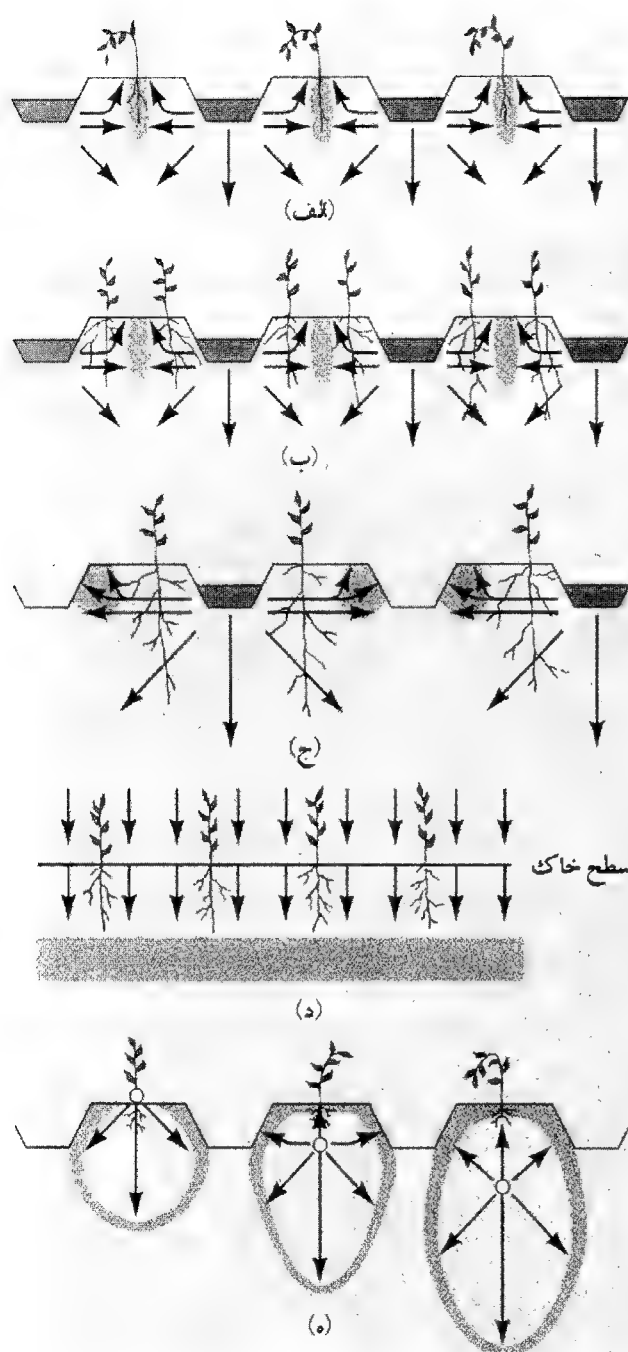
همان‌طور که قبلاً گفته شد باید احتیاط لازم را برای به حداقل رساندن بار شوری برای بهره‌برداران پایین دست معمول داشت. عملیات خاک‌ورزی و کشت و کار می‌توانند در تولید محصولات در خاک‌های شور مؤثر باشند. هر نوع خاک‌ورزی و یا عملیات مدیریت بقایای سطحی (مانند خاک‌ورزی حفاظتی) که تبخیر را از سطح خاک کاهش دهد انتقال نمک‌های محلول را نیز به طرف بالا کاهش خواهد داد. به همین ترتیب طرح‌های آبیاری خاص مانند آن‌هایی که از نظام بارانی و قطره‌ای استفاده می‌کنند (فصل ۲۲-۶ را مشاهده کنید)، و همین‌طور روش‌های کشت برای گیاهان ردیفی، می‌تواند تراکم نمک را بلافاصله در اطراف ریشه‌های جوان نبات کاهش دهد (شکل ۱۴-۱۰ را مشاهده کنید).

جدول ۵-۱۰ مقایسه شوری ۶ منبع مختلف آب که به وسیله‌ی هدایت الکتریکی و میزان مواد جامد محلول اندازه‌گیری شده است.

اندازه‌گیری شوری	کیفیت آب آبیاری		رودخانه	رودخانه	آب زیرزمینی صحرای	اقیانوس
	خوب	حاشیه ای	کلرادو	آلامو	نگو خاورمیانه	کیبیر
هدایت الکتریکی dS/m	۰-۱	۱-۳	۱/۳	۴	۴-۷	۴۶
مواد جامد حل شده p.p.m	۰-۵۰۰	۵۰۰-۱۵۰۰	۸۵۰	۳۰۰۰	۳۰۰۰-۴۵۰۰	۳۵۰۰۰

^۱ - Reclamation

^۲ - Leaching requirement



شکل ۱۴-۱۰ اثر آبیاری بر حرکت نمک و رشد گیاه در خاک‌های شور. (الف) آب آبیاری در دو جویچه در کنار ردیف کشت در کرت توزیع شده و سبب حرکت نمک‌ها به وسط پشته، جایی که ردیف کشت قرار داشته گردیده و سبب صدماتی به ریشه نبات خواهد شد. (ب) با جایگذاری ردیف‌های کشت در کناره‌های پشته از صدمات وارده قبلی جلوگیری می‌کند. (ج) توزیع آب در جویچه به‌طور یک در میان و ردیف‌های کشت در کناره پشته نزدیک به جویچه آبیاری از تراکم زیاد نمک ممانعت می‌کند. (د) آبیاری بارانی و یا آبیاری یکنواخت کرتی سبب حرکت نمک‌ها به پایین و تخفیف مشکل خواهد شد. (ه) آبیاری قطره‌ای و یا قطره چگانی سبب حذف نمک و یا تجمع آن، بسته به جایگذاری محل قطره‌چکان‌ها می‌گردد.

۱۰-۱۰ اصلاح خاک‌های شور- سدیمی و سدیمی

خاک‌های شور- سدیمی دارای بعضی خصوصیات منفی هر دو خاک شور و سدیمی می‌باشد. همان‌طور که قبلاً گفته شد، اگر در خاک‌های شور- سدیمی اقدام به آبشویی نمک‌های محلول کنیم، میزان سدیم قابل تبادل (Na^+) و هم چنین pH محلول خاک افزایش یافته و خاک خصوصیات منفی خاک‌های سدیمی را دارا خواهد شد. در نتیجه برای هر دو خاک شور- سدیمی و سدیمی باید اول توجه خود را به کاهش مقدار یون‌های سدیم قابل تبادل (Na^+) مبذول داشته، سپس اقدام به آبشویی نمک‌های محلول اضافی کنیم.

تابلو ۲-۱۰ نیاز آبخویی LR

یک زارع باید بداند که چه مقدار آب آبخویی برای جلوگیری از تجمع نمک در یک خاک، و یا در صورت بالابودن قبلی نمک در خاک برای کاهش مقدار آن در خاک لازم است. LR برای کمک به زارعین برای انجام این ارزیابی ارائه شده است. LR عبات از آب آبیاری لازم (اضافه بر آن چه برای اشباع خاک لازم است) برای آبخویی کافی خاک و تضمین تعادل مناسب نمک برای کشت نبات مورد نظر کرده و مقدار آن به‌طور تقریبی عبارتست از نسبت هدایت الکتریکی آب آبیاری (EC_{iw}) به هدایت الکتریکی زهاب (EC_{dw}) که از نظر نبات مورد نظر قابل قبول باشد.

$$LR = \frac{EC_{iw}}{EC_{dw}}$$

به‌عنوان یک مثال، موقعیتی را مورد نظر داشته باشید که در آن EC آب آبیاری (EC_{iw}) ۲/۵ دسی‌زیمنز در متر و EC مورد قبول خاک زه‌کشی ۵/۵ دسی‌زیمنز در متر باشد مقدار آب لازم برای آبخویی عبارتست از

$$LR = \frac{2.5}{5.5} = 0.45$$

اگر این نسبت در مقدار آب لازم برای مرطوب کردن کامل خاک (مثلاً ۸ سانتی‌متر) ضرب شود مقدار آب آبخویی می‌تواند مطابق روش زیر محاسبه گردد:

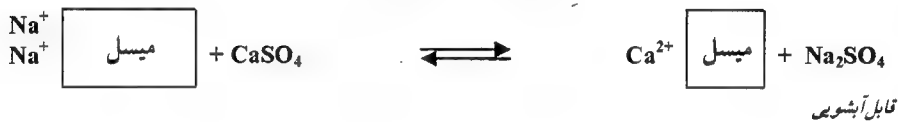
$$0.45 \times 8 = 3.6 \text{ cm}$$

این حداقل مقدار آب است که باید از خاک اشباع شده برای تعادل مناسب نمک خاک موردنظر خارج شود. در بعضی موارد ممکن است آبخویی زیادتر برای کاهش غلظت اضافی عناصر خاص مانند بُر لازم باشد.

روش‌های جدید اندازه‌گیری هدایت الکتریکی خاک مرطوب (EC_a) با استفاده از ۴ الکتروود و یا تجهیزات سنجش از راه دور القای الکترومغناطیسی (فصل ۳-۱۰)، می‌توانند برای نظارت آسان تغییرات شوری خاک حاصل از عملیات آبخویی مورد استفاده قرار گیرند.

گچ^۱

جدا سازی یون‌های Na^+ از همتافت تبادل، با جایگزینی آن‌ها به وسیله یون‌های Ca^{2+} و H^+ مؤثرترین روش می‌باشد. ارانه‌ی Ca^{2+} به‌صورت گچ ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) عملی‌ترین راه برای انجام این تبادل است. وقتی گچ به خاک اضافه می‌شود. واکنش‌هایی همانند زیر صورت می‌گیرد.



توجه داشته باشید در هر مورد نمک محلول Na_2SO_4 تشکیل گردیده که می‌تواند به آسانی از خاک همان‌طور که در مورد خاک‌های شور گفته شد، آبخویی گردد.

چندین تن گچ در هکتار برای اصلاح خاک‌های سدیمی لازم است. در تابلو ۳-۱۰ محاسباتی به‌طور نظری برای برآورد مقدار گچ لازم برای خارج ساختن مقدار قابل قبول Na^+ از همتافت جذب انجام شده است. برای تسریع واکنش، خاک باید مرطوب باشد و گچ باید با خاک سطحی به‌طور کامل مخلوط گردیده، و با کولتواتر با خاک زیر مخلوط گردد. نباید گچ به‌طور ساده در سطح پخش گردیده و با شخم‌زدن برگردانده شود. این عملیات باید با آبخویی کامل خاک با آب آبیاری، به‌منظور آبخویی بیشترین مقدار سولفات سدیم تکمیل گردد.

^۱ - Gypsum

تابلو ۳-۱۰ محاسبه نظری گچ مورد نیاز

مسأله: چقدر گچ برای اصلاح خاک سدیمی با ESP ۲۵۰ و با ظرفیت تبادل کاتیونی ۱۸ سانتی مول در کیلوگرم در هکتار لازم است؟ فرض کنید که می‌خواهید ESP ۳۰ سانتی متری فوقانی را به ۵ درصد برسانید تا نباتی مثل یونجه در آن عمل آید.

حل:

اول- مقدار Na^+ که باید جایگزین شود با ضرب کردن مقدار CEC (۱۸) در تفاوت درصد اشباع سدیم $(25 - 5 = 20\%)$ به دست می‌آید

$$18 \text{ Cmol}_c \times 0.2 = 3.6 \text{ Cmol}_c/\text{Kg}$$



می‌دانیم که Na^+ به وسیله‌ی مقدار معادل شیمیایی Ca^{2+} در گچ $(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ جایگزین می‌شود به عبارت دیگر، ۳/۶ سانتی مول $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ برای جایگزینی ۳/۶ سانتی مول Na^+ لازم است.

دوم- وزن گچ لازم برای تأمین 3.6 Cmol در آن در هر کیلوگرم خاک را محاسبه کنید. این کار با تقسیم وزن مولکولی $(172) \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ بر ۲ (زیرا Ca^{2+} دارای ۲ بار و Na^+ فقط دارای یک بار می‌باشد) و سپس تقسیم بر ۱۰۰ به دست می‌آید، چون ما با سانتی مول سر و کار داریم سانتی مول گچ لازم برای جایگزین کردن ۱ سانتی مول سدیم در هر کیلوگرم خاک بر حسب گرم $172 / 2 \times 100 = 8600 \text{ g}$ سانتی مول و گچ لازم برای جایگزین کردن ۳/۶ سانتی مول سدیم در هر کیلوگرم خاک بر حسب گرم عبارتست از $8600 \times 3.6 = 31000 \text{ g}$ می‌باشد.

سوم- میزان وزن هر هکتار خاک با عمق ۳۰ سانتی متر با وزن مخصوص ۱۳۳۳ کیلودر هر متر مکعب بر حسب کیلوگرم مطابق زیر به دست می‌آید:

$$10000 \times 30 / 100 \times 1333 = 4 \times 10^6$$

حال مقدار گچ لازم برای این وزن خاک با ضرب آن در عدد ۳/۱ بر حسب گرم به دست می‌آید:

$$4 \times 10^6 \times 3.6 = 144 \times 10^6 \text{ گرم}$$

که با تقسیم آن بر 10^6 مقدار آهک لازم بر حسب تن به دست خواهد آمد:

$$144 \times 10^6 / 10^6 = 144 \text{ تن}$$

چهارم- به دلیل ناخالصی موجود در گچ و عدم کارایی کل فرایند مقدار گچ محاسبه شده باید ۲۰ تا ۳۰ درصد افزایش یابد، بنابراین، مقدار گچ نهایی با ضرب عدد ۱۲/۴ مثلاً در ۱/۲۵ به دست بر حسب تن به دست می‌آید:

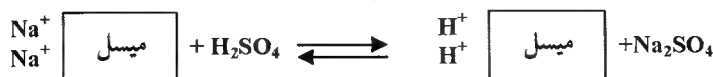
$$144 \times 1.25 = 180 \text{ تن}$$

گوگرد و اسیدسولفوریک

گوگرد عنصری و اسید سولفوریک می‌توانند در اراضی نمکی، به خصوص هنگامی که بی کربنات سدیم به مقدار زیاد وجود داشته باشد مورد استفاده قرار گیرند. گوگرد طی اکسایش میکروبی (فصل ۶-۹ و ۲۱-۱۳ را مشاهده کنید) ایجاد اسیدسولفوریک می‌کند که نه تنها بی کربنات سدیم را به سولفات سدیم کم ضررتر تبدیل می‌کند، بلکه سبب کاهش قلیائیت نیز می‌شود. ممکن است واکنش اسیدسولفوریک با ترکیبات دارای سدیم به صورت زیر نشان داده شود:



قابل آیشویی



قابل آیشویی

کربنات و بی کربنات سدیم نه تنها به سولفات سدیم، یک نمک کمی خشی تبدیل می‌شوند، بلکه بنیان کربنات نیز از نظام خارج می‌شود. گرچه وقتی گچ مصرف می‌شود بخشی از کربنات در ترکیب با کلسیم (CaCO_3) باقی می‌ماند.

در طرح‌های تحقیقاتی ثابت شده است که گوگرد، و حتی اسیدسولفوریک در اصلاح خاک‌های سدیمی بسیار مؤثر می‌باشند، به‌خصوص اگر مقادیر زیادی از CaCO_3 در خاک حضور داشته باشد. هرچند در عمل گچ بسیار گسترده‌تر از مواد اسیدزا مورد استفاده قرار می‌گیرد. گچ کم هزینه‌تر بوده، به‌طور فراوان در طبیعت و در اشکال مختلف تولیدات فرعی صنعتی در دسترس بوده و استعمال آن آسان‌تر است. باید احتیاط لازم را به‌عمل آورد تا مطمئن شویم که گچ به‌خوبی آسیاب گردیده و با افق‌های بالایی خاک‌ها به‌خوبی مخلوط گردیده است تا میزان انحلال و واکنش آن به پیشینه مقدار برسد.

شرایط فیزیکی

اثرات گچ و گوگرد بر شرایط فیزیکی خاک‌های سدیمی شاید چشم‌گیرتر از اثرات شیمیایی آن‌ها باشد. از آنجاکه کلویدهای خاک‌های سدیمی به‌مقدار زیادی پراکنده شده و خاک از خاکدانه‌های پایدار عاری است، این خاک‌ها به آب باران و آب آبیاری تقریباً غیرقابل نفوذ می‌باشد (شکل ۹-۱۰ و جدول ۶-۱۰ را مشاهده کنید). وقتی Na^+ قابل تبادل به‌وسیله یون‌های Ca^{2+} و H^+ جایگزین می‌شود، خاکدانه‌سازی و نفوذپذیری بیشتر آب حاصل خواهد شد (شکل ۱۵-۱۰ را مشاهده کنید). نمک‌های خشتی سدیم (مثلاً Na_2SO_4) تشکیل شده در جریان تبادل می‌توانند بعداً بر اثر آبشویی از خاک بیرون رفته، و بنابراین سبب کاهش هم شوری و هم قلیائیت گردند.

جدول ۶-۱۰ درجه‌ی خاکدانه‌سازی دو خاک الفی سول (زرالف) مبتلا به نمک بعد از حبس کردن مکرر (۸ بار) با محلول‌های دارای مقادیر مختلف سدیم و کلسیم با تیمارهای سدیم اثر آب آبیاری دارای SAR بالا را تشدید نمود. اثرات افزایش گچ به‌وسیله‌ی تیمارهای Ca تقویت گردید. توجه کنید در هر مورد تیمارهای سدیم خاکدانه‌سازی را کاهش داده و تیمارهای کلسیم آن‌را افزایش داد.

خاک	اندازه‌ی خاک (میکرون)	اصلی %	تیمار سدیم %	تیمار کلسیم %
Farrel	> 50	۵/۱	۳/۱	۹/۹
	۲۰ - ۵۰	۱۲/۸	۲/۱	۱۸/۰
Tarlee	> 50	۱۵/۶	۰/۰	۳۴/۱
	۲۰ - ۵۰	۱۱/۲	۵/۴	۴۲/۰

اثرات اصلاحی گچ و یا گوگرد با کشت نباتات در این خاک‌ها تشدید می‌شود. نباتات مانند چغندر قند، پنبه، جو، ذرت خوشه‌ای، شبدر، برسيم و یا چاودار که تا حدی دارای مقاومت در برابر خاک‌های شور و سدیمی می‌باشند، باید ابتدا کشت شوند. ریشه‌ی آن‌ها مسیرهایی ایجاد می‌کند که گچ می‌تواند از طریق آن‌ها به پایین خاک حرکت کند. محصولات ژرف ریشه مانند یونجه که به‌خصوص در بهبود هدایت آبی خاک‌های سدیمی تیمار شده با گچ مؤثر می‌باشند. شکل ۱۱-۱۰ اثر اصلاحی مشترک گچ و نبات ژرف ریشه را تشریح می‌کند. بعضی از تحقیقات مطرح می‌کنند که پلی‌مرهای مصنوعی تثبیت‌کننده خاکدانه‌ها ممکن است حداقل به‌طور موقت در افزایش ظرفیت نفوذ خاک‌های سدیمی تیمار شده با گچ مؤثر باشند. اطلاعات جدول ۷-۱۰ در یک آزمایش بیانگر توان احتمالی این مواد اصلاح‌کننده می‌باشد.

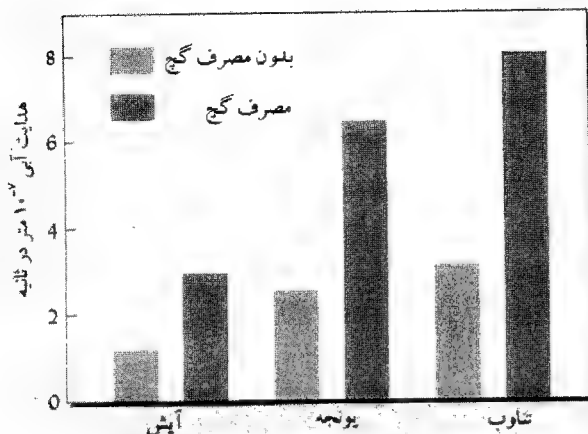
جدول ۷-۱۰ استفاده از گچ و پلی‌مرهای مصنوعی در اصلاح خاک‌های سدیمی

(اضافه کردن گچ به نمونه‌های دارای بافت ریز (رس) شور - سدیمی در رده‌ی مولی سول در ایالت کالیفرنیا، ضمن کاهش درصد سدیم قابل تبادل (ESP) سبب افزایش هم هدایت آبی و هم مقدار نمک‌های آبشویی شده در آزمایش گردید. اضافه کردن دو پلی‌مر مصنوعی (T4141 و ۲۱J) همراه گچ، سبب افزایش بیشتر آب‌گذری و مقدار نمک‌های آبشویی شده گردید.

خصوصیت اندازه‌گیری شده						تیمار
ESP (درصد)		کل نمک‌های آبشویی شده، میلی گرم در کیلوگرم		هدایت آبی میلیمتر در ساعت		
خیر	بلی	خیر	بلی	خیر	بلی	
۹/۶	۲۲/۹	۴/۷	۰	۰/۰۶	۰	اضافه کردن گچ
۹/۶	۲۵/۴	۱۰/۱	۰	۰/۲۸	۰	بدون پلی‌مر
۹/۶	۲۵/۵	۹/۷	۰	۰/۲۸	۰	با T4141
۹/۶	۲۵/۵	۹/۷	۰	۰/۲۸	۰	با 21J

زمان انجام آبیاری

زمان انجام آبیاری در خاک‌های نمک‌دار، به‌خصوص در طول فصل کشت در بهار، فوق‌العاده مهم می‌باشد. زیرا بوته‌های جوان به‌خصوص به شوری خاک حساس می‌باشند. آبیاری معمولاً قبل و یا بعد از کشت، برای انتقال نمک‌ها از منطقه ریشه گیاهان به پایین انجام می‌شود (شکل ۱۴-۱۰ را مشاهده کنید). پس از استقرار خوب نباتات، مقاومت آن‌ها به نمک مقداری بالاتر است.



شکل ۱۰-۱۵ تأثیر گچ و کشت نباتات در هدایت آبی ۲۰ سانتی‌متر فوقانی یک خاک شور-سدیمی (ناتراستالف) در پاکستان. استفاده از گچ برای افزایش آبدوزی در تمام کرت‌هایی که یونجه با ریشه عمیق و تناوب گندم-سببنا قرار داشت مؤثرتر بود

اثرات آمونیاک

روش اضافه کردن نیتروژن به صورت آمونیاک بدون آب^۲ (NH₃) به آب هنگام آبیاری در مزرعه سبب ایجاد مسائلی در خاک می‌شود. NH₃ با آب آبیاری وارد واکنش شده و تولید NH₄OH می‌کند.



pH بالای ایجاد شده بر اثر این واکنش ته‌نشینی کربنات‌های کلسیم و منیزیم را سبب می‌شود.



این جداسازی یون‌های Ca²⁺ و Mg²⁺ از آب آبیاری سبب بالا رفتن SAR و خطر افزایش ESP می‌شود. برای مقابله با این مشکلات، بعضی اوقات برای پایین آوردن pH آب آبیاری و همچنین خاک، اسیدسولفوریک به آب آبیاری اضافه می‌گردد. این عملیات در مناطقی که منابع موجود اسیدسولفوریک دارای توجه اقتصادی بوده و افراد متخصص و آگاه بر خطرات مصرف این اسید قوی وجود داشته باشند، قابل تعمیم است.

۱۰-۱۱ مدیریت خاک‌های اصلاح شده

پس از اصلاح شوری بایستی اقدامات مدیریتی محتاطانه‌ای را برای اطمینان از باقی‌ماندن توان تولیدی آن‌ها به‌عمل آورد. برای مثال، نظارت بر EC و SAR و دیگر خصوصیات شیمیایی مربوط به آب آبیاری اساسی است. اقدامات مدیریتی برای تطابق با هر نوع تغییر در کیفیت آب آبیاری، که می‌تواند در خاک مؤثر باشد لازم است. تعداد و زمان عملیات آبیاری می‌تواند در تعیین تبادله نمک‌های وارده و خارج شده از خاک کمک کند به‌همین ترتیب، نگهداری زه‌کشی داخلی خوب برای خارج ساختن نمک‌های اضافی اساسی می‌باشد. برای نظارت بر خصوصیات شیمیایی شاخص خاک، مانند pH، EC، SAR و هم چنین میزان عناصری خاص مانند بُر، مولیبدن و سلنیم، که می‌توانند منجر به سمیت شیمیایی گردند باید قدم‌هایی برداشته شوند. این اندازه‌گیری‌ها در تعیین نیاز به عملیات اصلاحی بعدی و یا مواد شیمیایی به ما کمک می‌کنند.

^۱ - Natrustalf's

^۲ - Anhydrous ammonia

مدیریت محصول و حاصل‌خیزی خاک، برای حفظ میزان عملکرد رضایت‌بخش و پایداری کیفیت کلی خاک‌های نمک‌دار اساسی می‌باشد. پس‌مانده‌های گیاهی (ریشه‌ها، و ساقه‌های بالای زمین) سبب حفظ ماده‌ی آلی و شرایط فیزیکی خوبی در خاک می‌گردد. برای حفظ عملکرد بالا باید بر کمبودهای فسفر و عناصر کم‌مصرف که مختص دیگر خاک‌های دارای pH بالاست، با استفاده از منابع آلی و معدنی مناسب غلبه کرد.

۱۲-۱۰ نتیجه‌گیری نهایی

خاک‌های قلیایی و خاک‌های مبتلا به نمک دارای گسترش زیادی در جهان می‌باشد. این خاک‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، که بیشتر از نصف اراضی قابل‌کشاورزی در آن‌ها یافت می‌شوند، غالب می‌باشند. این خاک‌ها به‌طور وسیعی برای مرتع و زراعت دیم مورد استفاده می‌باشند. در صورت آبیاری، این خاک‌ها می‌توانند در بین پرتولیدترین خاک‌های جهان قرار گیرند. باید بر کمبود بعضی از عناصر کم‌مصرف اساسی (مانند Fe و Mn) و عناصر پرمصرف (مانند فسفر) در خاک‌های قلیایی، و همچنین سمیت مولیدن غالب آیم. از آن‌جاکه مقدار pH این خاک‌ها بالاست عملیات مدیریتی که در این خاک‌ها اعمال می‌شود با خاک‌های مناطق اسیدی کاملاً متفاوتست.

سه کلاس از خاک‌های مبتلا به نمک وجود دارد که عبارتند از (۱) خاک‌های شور: که در آن‌ها نمک‌های خنثی غالب بوده (هدایت الکتریکی عصاره‌ی اشباعی ۴ دسی‌زیمنز در متر و پایین‌تر است) و pH از ۸/۵ کمتر می‌باشد، (۲) خاک‌های شور-سدیمی: که از نظر مقدار نمک و pH مشابه کلاس (۱) بوده اما درصد سدیم قابل‌تعویض آن (ESP) ۱۵ درصد و بالاتر می‌باشد و (۳) خاک‌های سدیمی: سدیم قابل‌تعویض در این خاک‌ها نیز از ۱۵ درصد بالاتر است، اما غلظت نمک‌های محلول آن‌ها نسبتاً پایین ($EC \leq 4 \text{ dS/m}$) و pH آن‌ها از ۸/۵ بالاتر می‌باشد. شرایط فیزیکی خاک‌های شور و خاک‌های شور-سدیمی برای رشد نبات رضایت‌بخش است، اما کلویدها در خاک‌های سدیمی عمدتاً پراکنده بوده، خاک گلخراب و میزان نفوذ آب در آن‌ها بی‌نهایت کند است.

اصلاح خاک‌های شور، شور-سدیمی و سدیمی نیازمند دو اقدام عمده است: (۱) حذف نمک‌های اضافی محلول در بخش‌های فوقانی خاکرخ و (۲) حذف یون‌های قابل‌تبادل سدیم، ابتدا از همتافت جذب با جایگزین کردن یون Na^+ به وسیله یون Ca^{2+} یا یون H^+ و سپس از محلول خاک با آبیویی Na^+ جایگزین شده می‌باشد. گچ ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) و گوگرد عنصری (S) موادی هستند که می‌توانند یون‌های مورد نیاز Ca^{2+} و H^+ مورد نیاز اصلاح را فراهم کنند. نظارت بر میزان مواد شیمیایی آب آبیاری و خاک برای دست‌یابی به هدف جایگزینی یون‌های Na^+ در همتافت جذب و نهایتاً حذف آن از خاک، امری اساسی می‌باشد.

سوالات برای مطالعه

- ۱ منابع اولیه قلیائیت در خاک‌ها چه می‌باشد؟ توضیح دهید.
- ۲- قابلیت استفاده عناصر اساسی زیر را در خاک‌های قلیایی با خاک‌های اسیدی مقایسه کنید:
 - (۱) آهن (۲) ازت (۳) مولیدن (۴) فسفر
- ۳- تجزیه‌ی آهن در یک منطقه خشک نشان‌دهنده فراوانی این عنصر بود، ولی درخت هلو که در این منطقه کشت شده بسود علایم شدید کمبود آهن را نشان می‌دارد توضیح چیست؟
- ۴- خاکی که دارای مقادیر زیاد $CaCO_3$ است ممکن است pH بالاتر از ۸/۳ را نداشته باشد، درحالی‌که خاک مجاور با میزان Na_2CO_3 بالا دارای pH ۱۰/۵ است. دلیل اصلی این اختلاف چیست؟
- ۵- خاک یک منطقه خشک، که اول بار برای کشت وکار آباد شد، دارای pH حدود ۸ بود. بعد از چند سال آبیاری، محصول شروع به کاهش نمود، خاکدانه‌ها تخریب شدند و pH به حدود ۱۰ رسید. توضیح احتمالی که برای این موقعیت به نظر می‌رسد چیست؟
- ۶- چه تیمارهای فیزیکی و شیمیایی برای بازگرداندن خاک مورد نظر در سؤال ۵ به توان تولید اولیه آن پیشنهاد می‌کنید؟
- ۷- پیامدهای نامناسب استفاده از اراضی ماندابی برای جمع‌آوری پساب آبیاری چه می‌باشد؟
- ۸- نیاز آبیویی را برای جلوگیری از تجمع نمک در ۴۵ سانتی‌متری فوقانی یک خاک را در صورتی که EC_{dw} ۶ دسی‌زیمنز در متر و EC_{tw} ۱/۲ دسی‌زیمنز در متر باشد محاسبه کنید.
- ۹- مزایای استفاده از گچ ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) در اصلاح یک خاک سدیمی چیست؟ واکنش‌های شیمیایی را که صورت می‌گیرد بنویسید.
- ۱۰- مقدار گچ لازم برای اصلاح یک خاک سدیمی با $ESP=3\%$ وقتی CEC مساوی ۲۵ سانتی‌مول در کیلوگرم و pH معادل ۱۰/۲ است محاسبه کنید. فرض کنید شما ESP بیشتر از ۴ درصد را لازم ندارید.

در سکوت و در آواره‌های شیمیایی بی‌امان قارچ‌ها،
 خس و خاشاک جنگل به سرعت ناپدید می‌گردد.
 فورسیت و میانا در سرشت گرمسیری

فصل ۱۱

موجودات زنده و بوم‌شناسی خاک

واژه‌های بوم‌سامان^۱ و بوم‌شناسی^۲ معمولاً مناظر شیرهای در کمین گله‌های بزرگ چهارپایان وحشی در علف‌زارهای ساوانا در آفریقای شرقی، و یا تأثیرات متقابل فیتوپلانکتون، ماهی و مرد ماهی‌گیر را در دهانه یک شارگاه به ذهن متبادر می‌سازد. همانند ساوانا و یا شارگاه، خاک نیز یک بوم‌سامان است که در آن هزاران موجود مختلف در تعامل بوده و در چرخه‌های جهانی، که کل حیات را ممکن می‌سازند، شرکت دارند. این فصل بعضی از موجودات را در حماسه‌ی زندگی که پنهان در خاک زیر پای ما تداوم دارد، معرفی می‌کند. اگر بدن ما چنان کوچک بود که می‌توانست از گذرگاه‌های باریک خاک عبور کند، می‌توانستیم به کشف جهانی پرازدحام از تعداد کثیری موجودات زنده که برای هر برگ که به روی جنگل فرو می‌افتد، هر ریشه‌ای که از علف در حال رشد جدا می‌شود، هر ذره فضولات و هر جسم زنده‌ای که به خاک می‌رسد در رقابت دمنشانه می‌باشند، موفق شویم. ما همچنین می‌توانستیم شکارچی‌هایی را از هر نوع پیدا کنیم که بعضی مخفیانه در تاریکی با آواره‌های مخوف در حال قاپیدن قربانیان بی‌خیال خود بوده و بعضی دیگر با بدن ژلاتینی خود به سادگی شکارهای میکروسکوپی خود را دربرگرفته و مشغول هضم باشند.

بیشتر کار در جوامع خاک به وسیله‌ی موجوداتی به انجام می‌رسد که آواره‌های آن‌ها همانا آنزیم‌های شیمیایی بوده که با خوردن تمام مواد آلی باقی‌مانده از سایر همسایگان با شیوه‌های مختلف آن‌ها را معدوم می‌کنند. تنوع مواد تحت تأثیر و شرایط محیطی که در یک مشت خاک یافت می‌شود چنان تنوعی از موجودات تطابق‌یافته را شامل می‌باشد که به تصور در نمی‌آیند. مجموعه‌ی زنده مانی، تنوع و تعادل در بین این موجودات سبب ایجاد یک بوم‌سامان سالم گردیده و ایفای نقش خاک را با کیفیت بالا ممکن می‌سازد.

ما خواهیم آموخت که چگونه این جوامع جانوری^۳ و گیاهی^۴ خاک با همدیگر در تعامل بوده، چه می‌خورند، چگونه بر خاک اثر گذاشته، و شرایط خاک چگونه بر آن‌ها اثرگذار است. موضوع اصلی این است که این جامعه موجودات زنده چگونه پس‌مانده‌های گیاهی و جانوری را هضم، هموس خاک را ایجاد، کرین و عناصر غذایی را بازچرخ و رشد گیاهان را تضمین خواهند کرد. ما بیشتر بر فعالیت این موجودات به جای طبقه‌بندی علمی آن‌ها تأکید خواهیم داشت. بنابراین، فقط دسته‌بندی‌های ساده کلی مورد لحاظ قرار خواهند گرفت.

۱-۱۱ تنوع جانداران خاک

جانداران خاک موجوداتی هستند که بخشی و یا تمام زندگی خود را در محیط خاک سپری می‌کنند. هر مشت خاک احتمالاً شامل میلیاردها جانداران شاخص از تمام شاخه‌های حیات می‌باشند. طبقه‌بندی ساده عمومی این جانداران در شکل ۱-۱۱ آمده است.

اندازه موجودات خاک: حیوانات (فون) خاک از درشت‌جانوران یا ماکروفون^۵ (مانند موش صحرائی^۶ - سگ سرخ‌زار^۷ کرم‌های خاکی و هزارپایان)، جانوران متوسط (مانند دم‌فتری‌های نخی^۸ و کنه‌ها) و یا ریزجانوران (مانند نماتودها و تک‌یاخته‌گان) متفاوت می‌باشند.

^۱-Ecosystem

^۲-Ecology

^۳-Fauna

^۴-Flora

^۵-Macrofauna

^۶-Moles

^۷-Prairie dog

^۸-Springtail

گیاهان (فلور)^۱ خاک ریشه‌ی گیاهان عالی، جلبک‌های میکروسکوپی و دیاتومه‌ها را شامل می‌شوند. سایر گیاهان (بسیار کوچک‌تر از آن‌چه بدون میکروسکوپ بتوانند مشاهده شوند) شامل قارچ‌ها، باکتری‌ها و اکتینومیست‌ها می‌باشند که تمایل دارند از نظر تعداد، جرم و ظرفیت زیستی در خاک غالب شوند.

توجه کنید که ما جانداران خاک را بر حسب اندازه‌ی آن‌ها (ماکرو درشت‌تر از ۲ میلی‌متر، مزو بین ۰/۲ تا ۲ میلی‌متر و میکرو کمتر از ۰/۲ میلی‌متر) و همین‌طور فعالیت‌های زیست‌بومی آن‌ها (چه می‌خورند) طبقه‌بندی کرده‌ایم. یک خاک شاخص سالم ممکن است دارای گونه‌های مختلفی از مهره‌داران (موش، موش نقب‌زن، مار) نیم دو جین از گونه‌های کرم خاکی، ۲۰ تا ۳۰ گونه کنه ۵۰ تا ۱۰۰ حشره (دم‌فتری‌ها، سوسک) و چند دو جین گونه‌های نماتود، صدها گونه قارچ، و احتمالاً هزاران گونه باکتری و اکتینومیست باشد.

انواع تنوع: در یک خاک به‌خاطر انواع غذاهای نامحدود و زیستگاه‌های بسیار، تنوع وجود دارد. در داخل یک مشت خاک ممکن است مناطق دارای تهویه، فاقد تهویه، دارای شرایط اسیدی و یا فاقد آن، دمای بالا، شرایط مرطوب و خشک و تمرکز محلی عناصر محلول، مواد آلی و جانداران رقیب وجود داشته باشد، جانداران خاک به‌جای این‌که به‌طور یکنواخت در کل خاک توزیع یابند، در مناطقی تمرکز یافته‌اند که شرایط مناسب وجود دارد.

بوم‌شناسان محیط‌های آبی از مدت‌ها قبل دریافته‌اند که جوامع متنوعی از جانداران آبی معرف کیفیت آب می‌باشند. به همین ترتیب، دانشمندان خاک اکنون فرضیه‌ی تنوع زیستی را به‌عنوان شاخص کیفیت خاک به‌کار می‌برند. تنوع گونه‌ای غنی، بیانگر توزیع نسبتاً یکنواخت جانداران موجود در داخل گونه‌های زیاد می‌باشد این پیچیدگی و تنوع گونه‌ای^۲ همراه با تنوع گسترده‌ی وظایف^۳ زیستی است که بیانگر استفاده از مواد و غذاهای متنوع و اجرای یک سلسله از فرایندها می‌باشد.

پویایی بوم‌سامان: در اکثر بوم‌سامان‌های خاکی سالم، گونه‌های متنوع و در مواردی گونه‌های فراوان و متفاوتی قادر هستند که هزاران فرایند مختلف آنزیمی و فیزیکی را هر روز به انجام رسانند. این تکرار وظایف^۴ بیانگر حضور جانداران متعدد برای انجام وظایف مختلف است که سبب پایداری^۵ و انعطاف^۶ بوم‌سامان می‌باشد. پایداری خاک بیانگر توانایی خاک برای تداوم وظایفی مانند چرخه‌ی عناصر، هضم پس‌مانده‌های آلی و حفظ ساختمان خاک، حتی در صورت مواجهه با شرایط گسترده محیطی و نهاده‌ها می‌باشد. انعطاف، توانایی خاک را برای برگشت جهت انجام وظایف خود به‌طور سالم پس از به‌هم‌خوردن فرایندهای عادی تشریح می‌کند. در تنوعی بسیار زیاد، یک جاندار به تنهایی غالب نمی‌باشد، و با همین فرض، نابودی هر گونه تمام نظام را فلج نمی‌کند. با این حال برای فرایندهای خاص خاک مانند اکسایش آمونیوم (بخش ۷-۱۳) و یا ایجاد منافذ درشت تهویه (بخش ۶-۴)، مسوولیت اصلی ممکن است به عهده‌ی یک یا دو گونه خاص باشد. فعالیت و فراوانی این گونه‌ها، سنگ کلیدی (مثلاً باکتری‌های خاص نترات‌کننده و یا کرم‌های خاکی حفار) نیازمند توجهی خاص است، زیرا جمعیت آن‌ها ممکن است بیانگر سلامت بوم‌سامان خاک باشد.

منابع توارثی: تنوع جانداران در خاک علاوه بر دلایل حفاظت از وظایف بوم‌زیستی دارای اهمیت است. خاک‌ها یاری زیادی به تنوع زیستی جهانی می‌کنند. بسیاری از دانشمندان اعتقاد دارند که گونه‌های بیشتری در زیر سطح خاک درمقایسه با سطح خاک وجود دارند. خاک‌ها بنابراین منبع مهمی از نوآوری‌های توارثی هستند که طبیعت آن‌را در رمز DNA صدها میلیون سال قبل نوشته است. بشر همیشه راه‌هایی برای استفاده از بعضی مواد توارثی موجود در داخل جانداران خاک یافته است (آب‌جو، ماست و آنتی‌بیوتیک نمونه‌هایی از آن هستند). هرچند با پیشرفت‌های اخیر در مهندسی زیستی، که امکان انتقال مواد توارثی را از یک نوع جاندار به نوع دیگر فراهم ساخته است، بانک ذخیره‌ی DNA خاک اهمیت عملی بسیار زیادی برای آسایش انسان پیدا کرده است. ژن‌های جانداران خاک ممکن است برای تولید گیاهان و حیواناتی که دارای مزایای بالایی برای جوامع انسانی می‌باشند مورد استفاده قرار گیرند.

^۱-Mesofauna

^۲-Species diversity

^۳-Functional diversity

^۴-Functional redundancy

^۵-Stability

^۶-Resilience

حیوانات (فن) - همگی غیرخودپرور ^۱	
<p>بزرگ جانوران^۲: گیاهان عمدتاً گیاه خواران و ریزه خواران</p> <p>مهره داران^۳: موش آمریکایی، موش صحرا، سنجاب</p> <p>بندپایان^۴: مورچه ها، سوسک ها و نوزاد آن ها، کرم حشرات، موریانه ها، عنکبوت ها، هزارپایان و شپش چوب</p> <p>کرم های بندبند^۵: کرم های خاکی</p> <p>نرم تنان^۶: حلزون ها، راب ها</p> <p>شکارچیان</p> <p>مهره داران: موش کور و مارها</p> <p>بندپایان: سوسک ها، مورچه ها و صدپایان^۷</p>	
<p>جانوران متوسط^۸: عمدتاً ریزه خواران</p> <p>بندپایان: کنه ها، کولمبلا (دم فتری ها)</p> <p>کرم های بندبند: کرم های برجسته^۹</p> <p>شکارچیان بزرگ</p> <p>بندپایان: کنه ها و پروتورا</p>	
<p>ریز جانوران: ریزه خواران - شکارچیان، قارچ خواران و باکتری خواران</p> <p>نمادها: نماد</p> <p>روتیرفا^{۱۰}: روتیرفی، خرس آبی^{۱۱}</p> <p>تک یاخته ها: آمیب و مژه داران^{۱۲}</p>	
گیاهان (فلور)	
<p>بزرگ گیاهان عمدتاً خودپرور</p> <p>گیاهان آوندی^{۱۳}: ریشه های تغذیه کننده</p> <p>خزه ها^{۱۴}: خزه</p>	
<p>ریز گیاهان، عمدتاً خودپرور^{۱۵}</p> <p>گیاهان آوندی: ریشه های موین</p> <p>جلبک ها: - سبز، زرد سبز، و دیاتومه ها</p> <p>عمدتاً غیر خودپرور - هوازی</p> <p>قارچ ها: مخمرها، کپک ها، کپک قارچ، زنگ ها و قارچ های خوراکی</p> <p>اکتیوئیست ها ☉: بسیاری از انواع اکتیوئیست ها</p> <p>خودپرورها، غیر خودپرورها</p> <p>باکتری ها ☉: هوازی و غیرهوازی</p> <p>جلبک باکتری ها ☉: جلبک های سبز - آبی</p>	

• در بعضی طبقه بندی این جانوران به جای Animalia در سلسله Prostista طبقه بندی شده اند ☉ این گیاهان، هم در سلسله Monera طبقه بندی شده اند.

شکل ۱۱-۱ طبقه بندی کلی بعضی از گروه های مهم موجودات زنده خاک، بعضی از جانداران از گیاهان زنده (علف خواران) تغذیه می کنند. بقیه بر روی بقایای مرده گیاهان (ریزه خواران) زندگی می کنند. بعضی از حیوانات استفاده می کنند (شکارچی ها)، بعضی قارچ ها را می خورند (قارچ خواران) و بعضی باکتری ها (باکتری خواران)، بعضی از موجودات زنده تغذیه می کنند (انگل). موجودات غیر خودپرور متکی به ترکیبات آلی برای نیازهای کربن و انرژی خود می باشند درحالی که خودپرورها کربن خود را عمدتاً از گازکربنیک و انرژی خود را از فتوسنتز و یا اکسایش عناصر به دست می آورند.

¹-Heterotroph

²-Macrofauna

³-Vertebrates

⁴-Arthropods

⁵-Annelida

⁶-Mollusca

⁷-Centipeds

⁸-Mesofauna

⁹-Enchytraeid (pot) worms

¹⁰-Rotifera

¹¹-Water bears

¹²- Vascular

¹³-Bryophytes

¹⁴-Autotroph

۱۱-۲ جانداران در فعالیت

فعالیت جانوران و گیاهان خاک در ارتباط تنگاتنگ با آنچه بوم‌شناسان از آن به نام یک زنجیره غذایی^۱ و یا به عبارت درست‌تر یک شبکه‌ی غذایی^۲ یاد می‌کنند می‌باشد. بعضی از این روابط که در شکل ۱۱-۲ نشان داده شده‌اند، تشریح می‌کند که چگونه جانداران مختلف خاک در تجزیه بقایای گیاهان عالی دخالت دارند.

تولیدکنندگان اولیه^۳

همانند تمام بوم‌سامان‌ها، گیاهان نقش تولیدکنندگان اولیه را با استفاده از انرژی آفتاب، آب و کربن گازکربنیک نیوار برای ایجاد مولکول‌های آلی و اندام‌های زنده ایفا می‌کنند. این مواد آلی و انرژی موجود در آن سپس به وسیله‌ی سایر جانداران به‌طور مستقیم، و یا چه به‌وسیله‌ی میانجی‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

گیاه‌خواران^۴ و ریزه‌خواران^۵: جانداران ویژه‌ای در خاک از گیاهان زنده تغذیه کرده و گیاه‌خوار نامیده می‌شوند. نمونه آن‌ها نماتودهای انگل و نوزاد حشرات می‌باشند که به ریشه گیاهان حمله کرده و همچنین موریانه‌ها، مورچه‌ها و نوزاد سوسک‌ها، موش چوب آمریکایی و موش می‌باشند که بخش‌هایی از نبات را در سطح خاک حریصانه می‌بلعند. چون آن‌ها به گیاهان زنده که ممکن است برای انسان ارزشمند باشد حمله می‌کنند بسیاری از این گیاه‌خواران آفت خاک تلقی می‌شوند. برای بخش وسیعی از خاکزیان گرچه منبع اصلی غذای آنان، پس‌مانده‌های بافت‌های مرده به‌جای گذاشته گیاهان و جانوران می‌باشد، این بقایا خرده‌ریزها، و حیواناتی که مستقیماً از آن‌ها تغذیه می‌کنند ریزه‌خواران نامیده می‌شوند.

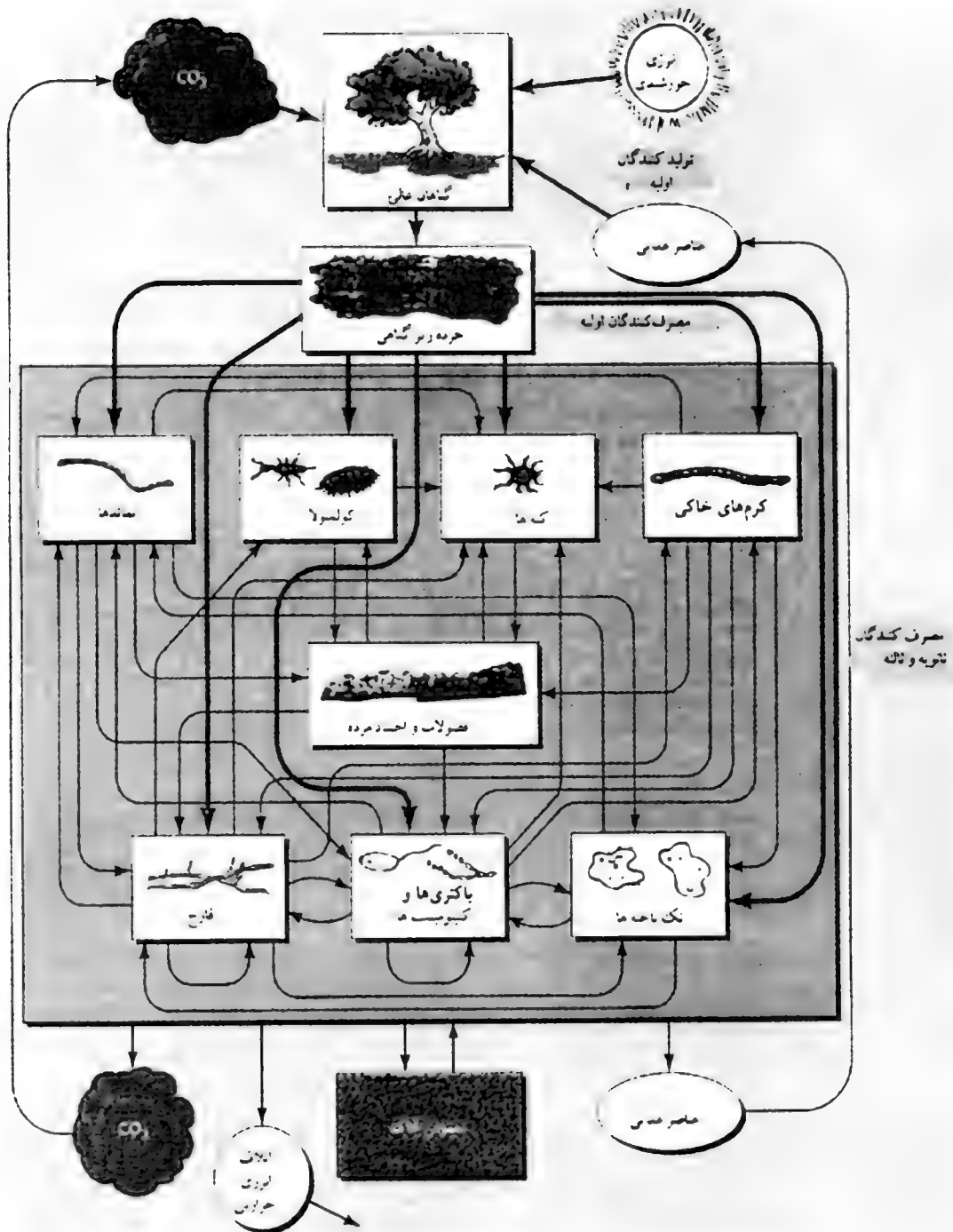
پس‌مانده‌های گیاهی و حیوانی مداوماً در داخل و روی خاک به‌جا گذاشته می‌شوند این مواد آلی در جنگل‌های خزان‌کننده، مخصوصاً وقتی گیاهان برگ خود را در آخر فصل رشد بر روی زمین می‌ریزند، بسیار فراوان است. هر پاییز خاک در مناطق معتدل با این برگ‌ها تا عمق ۱۵ سانتی‌متر و بیشتر پوشیده می‌شود. با این وصف در تابستان بعدی به نظر می‌رسد که بسیاری از این پس‌مانده‌ها ناپدید شده و در سطح خاک ممکن است فقط نشانه‌ی کوچکی از حجم موادی که در پاییز سال قبل تجمع یافته بود به‌جای مانده است. هضم این حجم از پس‌مانده‌های گیاهی و جانوری برای جانداران کوچک و درشت خاک یک نقش اساسی به‌شمار می‌آید.

مصرف‌کنندگان اولیه^۶

به‌محض آن‌که یک شاخه، یک برگ و یا یک قطعه از پوست درخت بر روی زمین می‌افتد، در معرض تهاجم هماهنگ ریزگیاهان و ریزه‌خواران که بر روی بافت‌های مرده درحال تجزیه نباتات زندگی می‌کنند، قرار می‌گیرد (شکل ۱۱-۲). این حیوانات که کنه‌ها، شپش چوب و کرم‌های خاکی را شامل می‌شوند، بافت‌ها را جویده و یا سبب پارگی و ایجاد سوراخ و توسعه آن برای حمله سریع‌تر ریزگیاهان می‌شوند. حیوانات و ریزگیاهان که انرژی ذخیره شده در پس‌مانده‌های گیاهی را مورد استفاده قرار می‌دهند به مصرف‌کنندگان اولیه مشهور می‌باشند.

عمل جانوران خاک: درحالی‌که فعالیت ریزگیاهان عمدتاً شیمیایی است فعالیت جانوران خاک هم فیزیکی و هم شیمیایی می‌باشد جانوران متوسط^۷ و بزرگ^۸ پس‌مانده‌های گیاهی را جویده و آن‌ها را از یک محل به محل دیگر، روی زمین و یا حتی در داخل خاک جابه‌جا می‌کنند. جمل چرخش مواد غذایی را با دفن کردن کود دامی در راهروهای زیرزمینی که در افق‌های بالای خاک حفر می‌کنند، تشدید می‌کند. کرم‌های خاکی ضمن مخلوط کردن پس‌مانده‌های گیاهی و خاک معدنی در هنگام عبور دادن آن‌ها از داخل بدن خود در واقع راه خود را در داخل خاک می‌بلعند. حیوانات بزرگ مانند موش آمریکایی موش کور، سگ مرغزار و موش خرما نیز در خاک حفاری کرده و سبب مخلوط شدن و خاکدانه‌سازی قابل‌توجه می‌شوند.

^۱-Food web^۲-Food chain^۳-Primary producers^۴-Herbivores^۵-Detritivores^۶-Primary Consumers^۷-Mesofauna^۸-Macrofauna

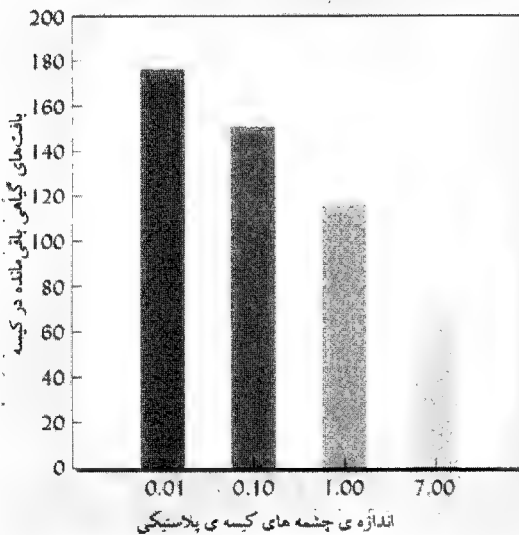


شکل ۱۱-۲ نمودار خیلی ساده‌شده‌ی شبکه‌ی غذایی در تجزیه‌ی بافت گیاهان عالی. محفظه‌ها معرف گروه‌های بزرگ جانداران و منابع آلی بوده در صورتی که پیکان‌ها معرف جابه‌جایی کربن، انرژی و عناصر غذایی در بین این منابع می‌باشد. گیاهان عالی به‌دلیل این که گاز کربنیک و انرژی جذب می‌کنند، تولیدکنندگان اولیه نامیده می‌شوند. پیکانهای ضخیم از پس‌مانده‌های گیاهی (خرد و ریزها) به گروه‌های جانداران معرف مصرف‌کنندگان اولیه می‌باشند. پیکان‌ها در داخل محفظه بزرگ معرف مصرف‌کنندگان ثانویه و ثالث می‌باشند. گرچه تمام گروه‌های نشان داده شده نقش مهمی در فرایند ایفا می‌کنند، ریزجانداران خاک که به وسیله سه محفظه پایین در شکل نشان داده شده‌اند. ۹۰-۸۰ درصد فعالیت سوخت‌وساز را به‌عهده دارند، در نتیجه‌ی این سوخت‌وساز هموس خاک بازسازی شده و گازکربنیک و انرژی حرارتی عناصر غذایی معدنی در داخل محیط خاک آزاد می‌شوند.

عمل این حیوانات سبب افزایش فعالیت ریزگیاهان از چند طریق می‌شود. اول عمل جویدن سبب قطعه‌قطعه شدن لاشیرگ، بریده شدن پوشش مقاوم مومی از روی بسیاری از برگ‌ها و ظاهر شدن محتویات یاخته‌ای دارای قابلیت تجزیه‌ی آسان می‌گردد. دوم بافت‌های گیاهی جویده شده به‌وسیله‌ی ریزجانداران موجود در شکنجه‌ی حیوانات که شرایط برای فعالیت میکروبی در آن آرمانی است، به‌طور کامل مخلوط می‌شود. سوم حیوانات متحرک، ریزجانداران را با خود حمل و سبب توزیع آن و پیداکردن منابع جدید غذا برای تجزیه‌کردن می‌شود. توانایی این جانوران در افزایش تجزیه‌ی پس‌مانده‌های گیاهی در شکل ۳-۱۱ تشریح شده است.

مصرف‌کنندگان ثانویه

اندام‌های (یاخته‌های) مصرف‌کنندگان اولیه، منبع غذایی برای شکارچیان و پارازیت‌ها (انگل‌ها) در خاک می‌باشند. مصرف‌کنندگان ثانویه شامل تمام شکل‌های کوچک حیات گیاهی مانند باکتری‌ها، قارچ‌ها، اکتینومیست‌ها و همین‌طور گوشت‌خواران مانند صدپایان و کنه‌ها (که حیوانات دیگری مانند حشرات کوچک را مصرف می‌کنند) عنکبوت‌ها، نماتودها، حلزون‌ها و موش‌کوره‌های به‌خصوص که از کرم‌های خاکی تغذیه می‌کنند، می‌باشند. نمونه‌هایی از تغذیه‌کنندگان بر روی ریزگیاهان به عنوان منبع غذایی شامل دم‌فتری‌های خاص، کنه‌ها، موربانه‌ها، نماتدها و تک‌یاخته‌گان می‌باشند. این تغذیه‌کنندگان بر روی ریزگیاهان تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر فعالیت قارچ‌ها و باکتری‌ها دارند. چرای این ریز و متوسط جانوران در اجتماعات میکروبی ممکن است سبب تحریک فعالیت و رشد آن‌ها، بسیار شبیه چرای حیوانات بر تحریک رشد مرتع، در بین سایر اجتماعات میکروبی گردد. در سایر موارد، ممکن است تهاجم تغذیه‌کنندگان ریزگیاهان چنان سبب ازبین‌رفتن اجتماعات آن‌ها گردد، که فعالیت ریزجانداران را دچار محدودیت کند.



شکل ۳-۱۱ تأثیر انواع جانداران خاک در تجزیه‌ی بافت‌های برگ ذرت مدفون‌شده در خاک، کیسه‌های مختلف نایلونی مشبک با منافذ مختلف با ۵۵۸ میلی گرم (وزن خشک) بافت‌های برگ ذرت پرشده و برای مدت ۱۰ هفته در خاک مدفون شدند، مقدار بافت‌های پس‌مانده برگ ذرت در کیسه‌های مشبک ریز بافت، به دلیل ممانعت از ورود جانداران متوسط و درشت، به مقدار قابل ملاحظه‌ای بیشتر از سایر کیسه‌ها بود.

مصرف‌کنندگان ثالث

با بیشتر بالا رفتن در زنجیره‌ی غذایی، مصرف‌کنندگان ثانویه خود شکار سایر گوشت‌خواران، تحت نام مصرف‌کنندگان ثالث قرار می‌گیرند. برای نمونه مورچگان از صدپایان، عنکبوت‌ها، کنه‌ها و عقرب‌ها تغذیه می‌کنند، که خود آن‌ها همگی می‌توانند مصرف‌کنندگان اولیه و ثانویه را شکار کنند.

ریزگیاهان در واقع در تمام سطوح فرایند (زنجیره‌ی غذایی) حضور دارند. علاوه بر حمله مستقیم آن‌ها به بافت‌های گیاهی (به‌عنوان مصرف‌کنندگان اولیه) در دستگاه هاضمه‌ی بسیاری از حیوانات خاک‌زی فعال بوده و به این حیوانات در هضم مواد آلی بسیار مقاوم کمک می‌کنند. ریزگیاهان همچنین به مواد آلی تکه پاره شده در فضولات حیوانات حمله کرده و سبب تجزیه اجساد مرده‌ی حیوانات می‌شوند. به این دلیل آن‌ها تجزیه‌کنندگان نهایی نامیده می‌شوند.

همان‌طوری که در شکل ۲-۱۱ مشخص شده است، گروه‌های بزرگ از موجودات زنده مانند قارچ‌ها و یا کنه‌ها شامل گونه‌هایی می‌باشند که ممکن است مصرف‌کنندگان اولیه، ثانویه و ثالث باشند. برای مثال بعضی از کنه‌ها مستقیماً به پس‌مانده‌های خردشده گیاهی حمله می‌کنند درحالی که بعضی دیگر، از باکتری‌ها و قارچ‌ها که بر روی پس‌مانده‌ها رشد می‌کنند تغذیه می‌کنند. هنوز انواع دیگری وجود

دارند که به کنه‌های مصرف‌کننده قارچ‌ها حمله می‌کنند و آن‌ها را می‌بلعند. همچنین توجه کنید که تعاملی دو طرفه بین اکثر گروه‌های جانداران وجود دارد برای مثال بعضی از نماتدها از قارچ‌ها تغذیه می‌کنند و بعضی از قارچ‌ها به نماتدها حمله می‌کنند.

۳-۱۱ فراوانی جانداران، زیتوده^۱ و فعالیت حیاتی

تعداد موجودات زنده‌ی خاک عمدتاً تحت تأثیر مقدار و کیفیت غذای موجود است. سایر عوامل موثر در تعداد موجودات شامل عوامل فیزیکی (مانند رطوبت و دما)، عوامل زیستی (شکار و رقابت) و خصوصیات شیمیایی خاک (مثلاً اسیدیته، عناصر غذایی محلول و شوری) می‌باشند. گونه‌هایی که در خاک‌های بیابانی مأوا دارند از گونه‌های موجود در جنگل مرطوب مطمئناً متفاوت بوده و آن‌ها نیز به نوبه‌ی خود از گونه‌های موجود در مزارع متفاوتند. خاک‌های اسیدی از گونه‌هایی ازدحام یافته است که با خاک‌هایی قلیایی متفاوت می‌باشند. همین‌طور تنوع و فراوانی گونه‌ها در جنگل‌های بارانی گرمسیری از مناطق معتدل خنک متفاوت می‌باشد.

به‌رغم این تفاوت‌ها، می‌توان به چند جمع‌بندی اندک مبادرت نمود. برای نمونه، مناطق جنگلی دارای تنوع بیشتری از جانوران خاک در مقایسه با علف‌زارها می‌باشند، گرچه وزن کل جانوران در هکتار و فعالیت جانوری، در علف‌زارها بیشتر است (جدول ۱-۱۱ را مشاهده کنید). به همین ترتیب تعداد و زیتوده‌ی موجودات خاک، به‌خصوص جانوران در یک مزرعه‌ی تحت کشت و کار از یک زمین دست‌نخورده‌ی بومی کمتر است.

زیتوده کل (یا بخش زنده‌ی خاک) معمولاً در ارتباط با مقدار ماده‌ی آلی موجود است. نسبت بخش زنده بر اساس وزن خشک معمولاً ۸ تا ۱۰ درصد ماده‌ی آلی خاک است. دانشمندان معمولاً بیان می‌دارند که نسبت کل ماده‌ی آلی به پس‌ماندهای آلی به توده حیاتی میکروبی به توده حیاتی جانوری حدوداً ۱:۱۰:۱۰۰:۱۰۰۰ می‌باشد.

فعالیت موجودات زنده به‌طور مقایسه‌ای

فعالیت گروه خاصی از موجودات زنده خاک معمولاً به‌وسیله‌ی (۱) تعداد آن‌ها در خاک (۲) وزن آن‌ها (زیتوده) در واحد حجم یا سطح خاک و (۳) فعالیت زیستی آن‌ها (معمولاً بر اساس گاز کربنیک متصاعد شده در فرایند تنفس اندازه‌گیری می‌شود). تعداد و زیتوده گروه‌های موجودات زنده که معمولاً در خاک وجود دارند در جدول ۲-۱۱ ارائه شده است گرچه فعالیت‌های زیستی که معمولاً در ارتباط با زیتوده موجودات است نشان داده نشده است.

همان‌طوری که می‌باید انتظار داشت، ریزجانداران خاک بیشترین تعداد را داشته و دارای بالاترین زیتوده می‌باشند. ریزگیاهان همراه با کرم‌های خاکی (و موریه‌ها در خاک‌های مناطق گرمسیری) بیشترین فعالیت زیستی غالب را در اکثر خاک‌ها انجام می‌دهند. برآورد می‌شود که ۸۰ درصد سوخت‌وساز کل خاک به‌خاطر ریزگیاهان است، گرچه همان‌طوری‌که قبلاً گفته شد فعالیت آن‌ها به‌وسیله‌ی جانوران خاک افزایش می‌یابد. به این دلیل، بیشترین توجه به ریزگیاهان همراه با کرم‌های خاکی، موریه‌ها و جانوران دیگر مبدول خواهد گشت. موجوداتی که حتی بخش کوچکی از سوخت‌وساز کل را در خاک به عهده دارند می‌توانند نقش مهمی در تشکیل و مدیریت خاک ایفا کنند (فصل ۲ را مشاهده کنید) چونندگان سبب خردشدن، مخلوط‌شدن و خاکدانه‌سازی و مخلوط‌کردن پس‌ماندهای گیاهی سطحی با لایه‌های زیرین می‌شوند آن‌ها کانال‌هایی ایجاد می‌کنند که از آن آب و هوا به آسانی می‌توانند عبور کنند. مورچگان در مواضعی ویژه به‌خصوص در مناطق گرم، به‌خاطر توانایی‌های استثنایی آن‌ها در تخریب مواد چربی و برگرداندن خاک در هنگام ایجاد لانه، بسیار مهم می‌باشند. جانوران متوسط ریزه‌خوار خاک (عمدتاً کنه‌ها و دم‌قنری‌ها) (شکل ۴-۱۱ را مشاهده کنید) سبب جابه‌جایی و هضم نسبی پس‌ماندهای آلی و باقی‌گذاشتن فضولات برای تخریب ریزگیاهان می‌شوند. بسیاری از جانوران خاک‌زی با ساختن منافذ زیستی در تغییر مطلوب خصوصیات فیزیکی خاک موثر می‌باشند. سایر جانداران از خاک به عنوان زیست‌گاهی برای تخریب گیاهان عالی استفاده می‌برند.

منبع انرژی و کربن

جانداران خاک براساس این‌که کربن مورد نیاز ایجاد اجزاء یاخته‌ای خود را از کجا به دست می‌آورند به غیرخودپرور و خودپرور (جدول ۳-۱۱) تقسیم‌بندی می‌شوند. موجودات غیرخودپرور خاک کربن خود را از تجزیه‌ی مواد آلی ایجادشده به‌وسیله‌ی سایر موجودات دیگر به دست می‌آورند. این موجودات که شامل جانوران خاک، قارچ‌ها، اکتینومیست و اکثر باکتری‌ها می‌باشند بسیار از موجودات خودپرور متنوع‌تر می‌باشند. آن‌ها مسوول تجزیه‌ی مواد آلی هستند.

جدول ۱-۱۱ جرم حیاتی (زیتوده) گروه‌های جانوری در زیر اراضی جنگلی و مرتعی. جرم و در نتیجه سوخت‌وساز در علفزارها در بیشترین مقدار می‌باشد. کاج نونل با برگ‌های حاوی مواد بازی کم سبب ایجاد شرایط اسیدی و تجزیه آرام می‌شود.

گروه موجودات زنده		زیتوده، گرم در مترمربع	
		علف‌زار-مرتعی	جنگل
گیاه‌خواران	۱۷/۴	۱۱/۲	کاج نونل ۱۱/۳
ریزه‌خواران			
بزرگ	۱۳۷/۵	۶۶/۰	۱/۰
کوچک	۲۵/۰	۱/۸	۱/۶
شکارچیان	۹/۶	۰/۹	۱/۲
جمع	۱۸۹/۵	۷۹/۹	۱۵/۱

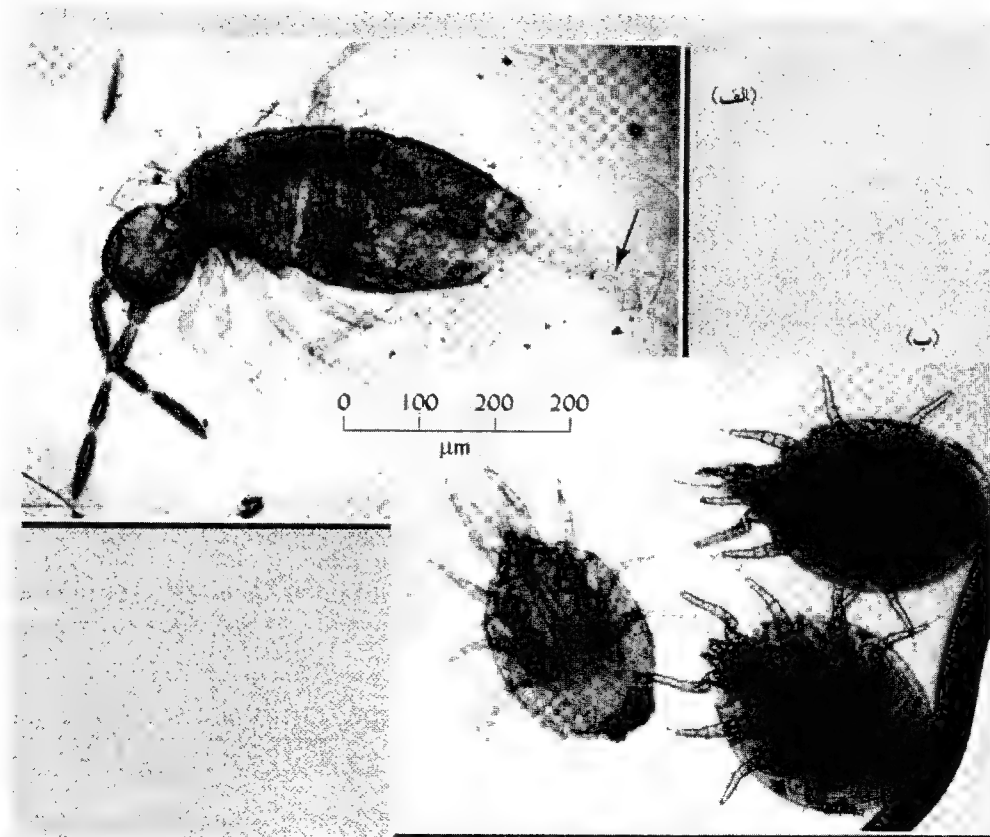
جدول ۲-۱۱ تعداد نسبی و جرم حیاتی جانوران و گیاهان که معمولاً در خاک‌های سطحی یافت می‌شود^۱ از آن‌جا که فعالیت سوخت‌وساز معمولاً در ارتباط با جرم حیاتی می‌باشد، ریزگیاهان و کرم‌های خاکی در حیات اکثر خاک‌ها غالب می‌باشند.

موجود زنده		تعداد		زیتوده ^۲ (بر اساس وزن زنده)	
		در مترمربع	در گرم	کیلوگرم در هکتار	گرم در مترمربع
ریزگیاهان					
باکتری‌ها	۱۰ ^{۱۳} -۱۰ ^{۱۴}	۱۰ ^۸ -۱۰ ^۹	۴۰۰-۵۰۰۰	۴۰۰-۵۰۰۰	۴۰-۵۰۰
اکتومسیت‌ها	۱۰ ^{۱۲} -۱۰ ^{۱۳}	۱۰ ^۷ -۱۰ ^۸	۴۰۰-۵۰۰۰	۴۰۰-۵۰۰۰	۴۰-۵۰۰
قارچ‌ها	۱۰ ^{۱۰} -۱۰ ^{۱۱}	۱۰ ^۵ -۱۰ ^۶	۱۰۰۰۰-۱۵۰۰۰۰	۱۰۰۰۰-۱۵۰۰۰۰	۱۰۰-۱۵۰۰
جلبک‌ها	۱۰ ^۹ -۱۰ ^{۱۰}	۱۰ ^۴ -۱۰ ^۵	۱۰-۵۰۰	۱۰-۵۰۰	۱-۵۰
جانوران خاک					
تک‌پایه‌ها	۱۰ ^۹ -۱۰ ^{۱۰}	۱۰ ^۴ -۱۰ ^۵	۲۰-۲۰۰	۲۰-۲۰۰	۲-۲۰
نماتدها	۱۰ ^۶ -۱۰ ^۷	۱۰-۱۰ ^۲	۱۰-۱۵۰	۱۰-۱۵۰	۱-۱۵
کنه‌ها	۱۰ ^۳ -۱۰ ^۶	۱-۱۰	۵-۱۵۰	۵-۱۵۰	۰/۵-۱/۵
کولومبولا	۱۰ ^۳ -۱۰ ^۶	۱-۱۰	۵-۱۵۰	۵-۱۵۰	۰/۵-۱/۵
کرم‌های خاکی	۱۰-۱۰ ^۳	-	۱۰۰-۱۵۰۰	۱۰۰-۱۵۰۰	۱۰-۱۵۰
سایر جانوران	۱۰ ^۲ -۱۰ ^۴	-	۱۰-۱۰۰	۱۰-۱۰۰	۱-۱۰

موجودات خودپرور کربن خود را به‌جای این که از کربن تثبیت‌شده در مواد آلی به‌دست آورند، از گاز کربنیک ساده (CO₂) و یا کانی‌های کربناته به‌دست می‌آورند. موجودات خودپرور براساس این که انرژی خود را از کجا به‌دست می‌آورند می‌توانند بیشتر تقسیم شوند. بعضی انرژی آفتاب را مورد استفاده قرار می‌دهند (خودپرور نوری) درحالی که بقیه انرژی آزاد شده از اکسایش عناصر معدنی مانند گوگرد، نیتروژن و آهن (شیمی خودپرور) به‌دست می‌آورند درحالی که موجودات خودپرور در اقلیت می‌باشند تثبیت کربن و واکنش‌های اکسایش معدنی به‌وسیله‌ی این گروه به آن‌ها امکان می‌دهد که نقشی حیاتی در نظام خاک ایفا کنند، خودپرورها عمدتاً شامل جلبک‌ها، سیانوباکتری‌ها و باکتری‌های خاص دیگر می‌باشند.

^۱ - برای کرم‌های خاکی عمق بیشتری در نظر گرفته شده است.

^۲ - ارقام زیتوده بر اساس وزن زنده است وزن خشک شده ۲۰ تا ۲۵٪ این ارقام است.



شکل ۴-۱۱ الف دم‌فتری‌ها (کولومبولا) و ب کنه‌ها. جانوران متوسط ریزه‌خواری هستند که معمولاً در خاک‌ها یافت می‌شوند. دم‌فتری‌ها نام خود را از فورکولا (دم) فتری‌مانند گرفته‌اند که از آن برای جهش به اطراف استفاده می‌کنند.

جدول ۳-۱۱ گروه‌بندی سوخت‌وساز موجودات خاک بر اساس منبع انرژی سوخت‌وساز آن‌ها، و براساس منبع کربن برای بازسازی زیست شیمیایی

منبع انرژی		منبع کربن
تابش خورشیدی	اکسایش زیست شیمیایی	
غیرخودپرور نوری: جلبک‌های محدود	غیرخودپرورهای شیمیایی: تمام جانوران، قارچ‌ها، اکتیومیسست‌ها و اکثر باکتری‌ها نمونه: کرم‌های خاکی، اسپریلوس ^(الف) ، آزوتوباکتر ^(ب) ، زودوموناس ^(ج)	کربن آلی مرکب
خودپرور نوری جلبک‌ها و سیانوباکتری‌ها نمونه: کورلا ^(د) - نوستوک ^(ز)	خودپرورهای شیمیایی: نمونه: اکسیدکننده‌های آمونیاسک نیتروزوموناس ^(د) اکسیدکننده‌های گوگرد تیو یاسیلیوس ^(ه)	اکسید کربن

Nitrosomonas:(د)

Pseudomonas:(ج)

Azotobacter:(ب)

Aspergillus:(الف)

Nostoc:(ز)

Chorella:(و)

Thiobacillus:(ه)

۴-۱۱ کرم‌های خاکی

کرم‌های خاکی احتمالاً مهم‌ترین درشت‌جانوران خاک باشند (شکل ۵-۱۱). آن‌ها همراه با عموزاده‌های متوسط اندازه‌ی خود یعنی کرم‌های اینکی‌تراید^۱ تخم‌گذار و خودگشن^۲ (اندام‌های نر و مادگی در یک فرد وجود دارد) بوده و از خرده‌ریزها، مواد آلی خاک و موجودات ذره‌بینی موجود بر روی این مواد تغذیه می‌کنند، آن‌ها از گیاهان زنده و ریشه آن‌ها تغذیه نکرده و آفت نباتات به حساب نمی‌آیند.^۳ بیشتر از ۳۰۰۰ گونه کرم خاکی در جهان شناخته شده‌اند. *Lumbricus terrestris* که موجودی قرمز رنگ بوده و سوراخ‌های عمیقی ایجاد می‌کند و *Allobophora caliginosa* که موجودی صورتی کم‌رنگ بوده و سوراخ‌های کم‌عمق ایجاد می‌کند دو نوع بسیار معمول در اروپا و آمریکای شرقی و مرکزی می‌باشند. *Lumbricus terrestris* معمولاً خزنده‌ی شبانه^۴ نامیده می‌شود، سر به هوا بوده و برای کشیدن خرده‌ریزها به داخل سوراخ خود به سطح خاک آمده، و معمولاً کپه‌هایی از خرده‌ریزهای جمع شده نزدیک سوراخ خود ایجاد می‌کنند. *Allobophora caliginosa* معمولاً کرم‌های قرمز نامیده می‌شوند و در داخل خاک سر به زیر بوده و فضولات خود را به سطح خاک می‌رانند. در مناطق گرمسیری دیگر انواع کرم‌های خاکی غالب می‌باشند در مناطقی که بارندگی سالانه حداقل ۸۰۰ میلی‌متر است گونه‌ی غالب را در بین جانوران تشکیل می‌دهند. بعضی از گونه‌های گرمسیری کوچک و بعضی دیگر به‌طور تعجب‌آوری بزرگ می‌باشند. بومی‌های استرالیایی به‌خاطر شکار کرم‌های خاکی که بیش از یک متر رشد می‌کنند مشهور می‌باشند. از طرف دیگر طول کرم‌های اینکی‌تراید از ۱ میلی‌متر تا کمتر از چند سانتی‌متر متغیر می‌باشد.

جالب توجه این است که *Lumbricus terrestris* گونه بومی آمریکا نبوده و احتمالاً در خاک دور ریشه‌ی نهال‌های میوه که مهاجرین با خود حمل می‌کردند از اروپا وارد شده است. با به‌زیر کشت درآمدن جنگل‌ها و مراتع این کرم‌های معرفی‌شده از اروپا به سرعت یا با پرکردن نقش حیاتی که از آخرین زمان یخبندان خالی مانده بود و یا با جایگزین کردن گونه‌های بومی که نمی‌توانستند تغییرات ایجاد شده در محیط خاک را که به وسیله‌ی شخم و شیار حاصل شده بود، تحمل کنند، غالب شوند. گرچه هنوز اراضی بکر بخشی از جمعیت بومی کرم‌های خاکی خود را دارا می‌باشند.



شکل ۵-۱۱ کرم‌های خاکی شاید مهم‌ترین جانداران درشت خاک در خاک‌های مناطق مرطوب معتدل، مخصوصاً در ارتباط با اثرات آن‌ها در شرایط فیزیکی خاک باشد. گونه‌های تغذیه‌کننده سطحی مانند *L. terrestris* مقادیر زیادی لاشبرگ گیاهی را با خاک مخلوط کرده و معمولاً پس‌مانده‌های گیاهی را در کپه‌هایی که میدن^۵ نامیده می‌شوند در ورودی حفرات خود گرد می‌آورند.

تأثیر کرم‌های خاکی در حاصل‌خیزی و توان تولید

حفره‌ها: کرم‌های خاکی حقیقتاً راه خود را در داخل خاک می‌خورند. آن‌ها ممکن است خاکی ۲ تا ۳۰ برابر وزن خود را در هر روز از بدن خود عبور دهند. در یک سال جمعیت کرم‌های خاکی ممکن است بین ۵۰ تا ۱۰۰۰ تن خاک را در یک هکتار از بدن خود عبور دهند.

^۱ - Enchytraeid

^۲ - Hermaphrodites

^۳ - در این مورد کرم‌های خاکی را نباید با کرم‌های مفتولی، کرم ریشه و سایر لاروهای حشرات خاکزی، که معمولاً کرم نامیده می‌شوند، و ممکن است آفات خطرناکی برای

نباتات باشند، اشتباه نمود.

^۴ - Nightcrawlers

^۵ - Middens

عدد بزرگ‌تر معمولاً در اقالیم گرمسیری مرطوب صورت می‌گیرد. با این عمل آن‌ها نظام گسترده‌ای از حفرات ایجاد می‌کنند در یک مترمربع این حفره‌ها دارای ۵ تا ۱۰۰ متر طول بوده که حدود ۰/۱ تا ۹ لیتر حجم منافذ زیستی^۱ را شامل می‌شوند. بسته به نوع گونه کرم خاکی منافذ عمدتاً قائم یا افقی می‌باشند، بعضی منافذ درشت پیوسته‌ای تا عمق ۱ متر ایجاد می‌کنند.

فضولات قالبی^۲: کرم‌های خاکی مقادیر فراوانی از خاک و مواد آلی نسبتاً هضم‌شده از خود بیرون می‌دهند. فضولات کرم‌های خاکی فضولات قالبی نامیده می‌شود و معمولاً به شکل خاکدانه‌های کروی است. بعضی از آن‌ها در شکل ۵-۱۱ دیده می‌شوند. رفتار ایجاد قالب در کرم‌های خاکی سبب پایداری خاکدانه‌ها می‌شود (جدول ۴-۱۱) قالب‌ها در داخل خاک‌رخ و یا بر روی سطح خاک بسته به گونه کرم خاکی جای‌گذاری می‌شوند. توده‌های قالبی کرم خاکی در سطح خاک و سوراخ‌های مدور در ورودی حفره‌ها علائم مهم فعالیت‌های کرم خاکی به حساب می‌آیند. در بسیاری از موارد قطعاتی از لاشیرگ گیاهی باید برای مشاهده ورودی حفره‌ها کنار زده شوند.

عناصر غذایی: فعالیت کرم‌های خاکی سبب افزایش خیلی زیاد حاصل‌خیزی خاک و توان تولید آن در نتیجه تغییر شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک، به‌خصوص در ۱۵ تا ۳۵ سانتی‌متری فوقانی خاک، می‌گردد. کرم‌های خاکی سبب افزایش قابلیت استفاده کانی‌های غذایی به دو طریق برای گیاهان می‌شوند. اول، خاک و مواد آلی با عبور از درون بدن کرم‌های خاکی به‌طور فیزیکی آسیاب گردیده و به‌طور شیمیایی به‌وسیله آنزیم‌های هضم‌کننده و ریزگیاهان روده‌ای آن‌ها مورد ته‌اجم قرار می‌گیرد. دوم، با بلعیدن خرده‌ریزها و مواد آلی خاک که دارای غلظت‌های کمتری از نیتروژن، فسفر و گوگرد می‌باشند، بخشی از این مواد به بخشی از بافت‌های بدن آن‌ها تبدیل شده و در نتیجه بدن آن‌ها دارای غلظت بالایی از این عناصر غذایی می‌گردد، که پس از مردن و تجزیه کرم‌های خاکی به آسانی برای گیاهان آزاد می‌شود. درمقایسه با توده‌ی خاک، فضولات کرم خاکی به‌طور مشخص دارای باکتری، مواد آلی و عناصر غذایی قابل‌استفاده بیشتری می‌باشد (جدول ۴-۱۱). این فضولات معمولاً در حفره‌هایی به‌جای گذاشته می‌شوند که گذرگاه‌های کم‌مقاومتی در مقابل رشد ریشه بوده، و بنابراین سبب افزایش قابلیت استفاده هرچه بیشتر این عناصر غذایی می‌گردد. رشد خیلی زیاد گیاهان چمنی در اطراف فضولات کرم‌های خاکی در چمن‌ها و مراتع نشانه‌ی اثر مطلوب کرم‌های خاکی بر توان تولیدی می‌باشد. به‌علاوه مخلوط‌کردن فیزیکی پس‌مانده‌های گیاهی سطحی به‌داخل خاک به‌وسیله کرم‌های خاکی و سایر جانوران خاک‌ری سبب کاهش هدررفت عناصر غذایی، به‌خصوص نیتروژن، بر اثر فرسایش و تصعید می‌شود. این عمل فیزیکی در چمن‌زارها و سایر خاک‌های کشت‌وکار نشده (از جمله در آن‌هایی که نظام شخم و شیار اندک اعمال می‌شود) سبب کسب عنوان ((شخم‌وشیارکنندگان طبیعت^۳)) به‌وسیله کرم‌های خاکی شده است.

اثرات مفید فیزیکی: کرم‌های خاکی به طرق دیگر نیز مفید هستند، سوراخ‌های باقی‌مانده در خاک (شکل ۷-۶) سبب افزایش تهویه و زه‌کشی، که مسأله قابل‌توجه مهمی در تولید محصولات و تکامل خاک می‌باشد، می‌گردند. در علف‌های چمن‌زار، فعالیت مخلوط‌کردن کرم‌های خاکی می‌تواند سبب کاهش، و یا تخفیف مسایل تراکم و حذف احتمال تشکیل یک لایه نامطلوب پوشال غیرقابل نفوذ گردد. در بارندگی‌های سنگین، حفره‌های کرم‌های خاکی ممکن است سبب افزایش نفوذ آب به داخل خاک گشته (شکل ۶-۱۱ را مشاهده کنید)، و بنابراین نقش مهمی را در حفاظت آب، و جلوگیری از فرسایش داشته باشد. به‌علاوه کرم‌های خاکی سبب مخلوط‌شدن و خاکدانه‌ای‌شدن خاک می‌شود. فضولات آن‌ها بخش قابل‌توجهی از خاکدانه‌های پایدار را در اکثر خاک‌ها تشکیل می‌دهد. کرم‌های خاکی سبب افزایش هم‌اندازه، و هم‌پایداری خاکدانه‌های خاک می‌شود. تا حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد خاک سطحی ممکن است دارای فضولات پایدار کرم‌های خاکی باشد. به‌علاوه ریشه‌ی قارچ‌ها که و تشکیل حفره‌های کرم‌های خاکی توسعه می‌یابد سبب پیوند ذرات خاک در خاکدانه‌های پایدار می‌شود.

تأثیر آبشویی شیمیایی^۴

تمام اثرات کرم‌های خاکی مفید نمی‌باشد. برای نمونه، دیده شده که گونه *Lumbricus terrestris* سبب برداشت پس‌مانده‌های گیاهی از بخش اعظم خاک برای ایجاد تپه‌های کوچک لاشیرگ می‌شود. (شکل ۵-۱۱ را مشاهده کنید). هنوز معلوم نیست که این عمل تا چه حد سبب حساسیت خاک آشکار شده در مقابل برخورد قطرات باران، ایجاد سله و افزایش فرسایش می‌شود. به همین نحو در چمن‌های متراکم زمین گلف فضولات کرم‌های خاکی در سطح خاک یک مزاحم به شمار می‌آید.

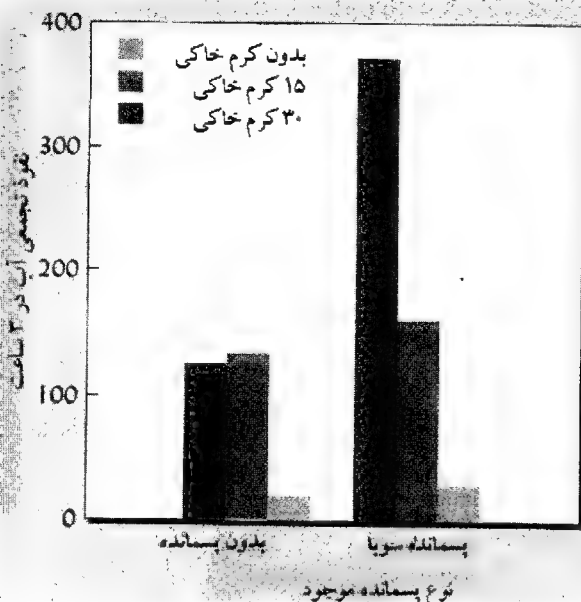
^۱ - Biopore

^۲ - Casts

^۳ - Nature's tillers

^۴ - Chemical leaching

جنبه مورد توجه دیگر این است که آبی که به سرعت از سوراخ‌های قائم کرم‌های فرونشست می‌یابد ممکن است آلاینده‌های بالقوه را به داخل آب زیرزمینی حمل کند (شکل ۲۵-۶). گرچه موادی که کرم‌های خاکی با آن حفرات خود را پوشش می‌دهند از نظر مادی آلی بسیار غنی بوده و ممکن است در مقایسه با خاک‌های اطراف این مواد پوششی دو تا پنج برابر ظرفیت نگهداری علف‌کش‌های خاص را دارا باشند. و بنابراین، انتقال چنین آلاینده‌هایی از حفرة کرم‌های خاکی کمتر از آن است که با جریان تسوده‌ای در این منافذ زیستی قابل انتظار است. حاصل کلام کرم‌های خاکی بسیار مفید بوده و فعالیت آن‌ها معمولاً به وسیله‌ی مدیران خاک مورد حمایت قرار می‌گیرد.



شکل ۱۱-۶ کرم‌های خاکی ممکن است به‌طور اعجاب‌آوری نفوذ آب را به داخل خاک افزایش دهند، به‌خصوص هنگامی که آن‌ها بر روی بقایای گیاهی سطح خاک تغذیه کنند این اطلاعات مربوط به خاک سری روب^۱ (مولی سول) در ایالت ایلینوی می‌باشد که در آن‌ها تعداد مشخصی از کرم‌های خاکی حاضر بودند.

جدول ۴-۱۱ خصوصیات قابل مقایسه فضولات کرم‌های خاکی و خاک‌ها (میانگین ۶ خاک - نیجریه)

خصوصیات	رس و لای، درصد	وزن مخصوص، مگاگرم در مترمکعب	× پایداری ساختمان	ظرفیت تبادل کاتیونی، cmol/kg	کلیم تبادل، cmol/kg	پتاسیم تبادل، cmol/kg	فسفر محلول، ppm	نیترژن کل، درصد
فضولات کرم‌های خاکی	۳۸/۸	۱/۱۱	۸۴۹	۱۳/۸	۸/۹	۰/۶	۱۷/۸	۰/۳۳
خاک	۲۲/۲	۱/۲۸	۶۵	۳/۵	۲	۰/۲	۶/۱	۰/۱۲

× تعداد قطرات لازم برای تخریب خاکدانه‌های ساختمانی

عوامل موثر در فعالیت کرم‌های خاکی

کرم‌های خاکی، یک زیست‌گاه دارای تهویه خوب اما مرطوب را ترجیح می‌دهند. به این دلیل، آن‌ها در خاک‌های بافت متوسط اراضی بالادست، که ظرفیت نگهداری رطوبت آن‌ها در مقایسه با شن‌های خشک و یا اراضی پست با زه‌کشی ضعیف، مناسب‌تر می‌باشد به وفور وجود دارند. کرم‌های خاکی باید مادی آلی را به عنوان منبع غذایی در دسترس داشته باشند. معمولاً آن‌ها روی مواد آلی تازه غیرپوسیده به بهترین نحو رشد می‌کنند. بنابراین، آن‌ها در جاهایی که کودداسی و پس‌مانده‌های گیاهی به خاک افزوده شوند دارای بهترین رشد می‌باشند. گونه‌های کمی به pH پایین به‌طور معقولی مقاوم می‌باشند اما اکثر کرم‌های خاکی در محل‌هایی که خاک خیلی اسیدی نبوده (pH ۵/۵ - ۸/۵) و دارای مقادیر کافی کلسیم باشند به بهترین نحو رشد می‌کنند (کلسیم جزء قابل توجهی از مواد قالبی دفع‌شده آن‌ها است). بیشتر کرم‌های خاکی به شوری بیش از حد حساس می‌باشند. اینکی‌ترایدها بسیار مقاوم‌تر به شرایط اسیدی بوده و در بعضی از اسپدوسول‌های جنگلی بسیار فعال‌تر از کرم‌های خاکی هستند.

^۱ - Raub soil (mollisol)

به نظر می‌رسد دمای بالاتر از ۱۰ درجه‌ی سانتیگراد برای کرم خاکی معمولی *Lumbricus terrestris* درجه‌ی حرارت بهینه باشد. این حساسیت به دما به انضمام ارجحیت خاک مرطوب، احتمالاً دلیل حداکثر فعالیت کرم‌های خاکی است که در مناطق معتدل در بهار و پاییز مشاهده می‌شود. بعضی از کرم‌های خاکی حفره‌هایی به عمق ۱ تا ۲ متر در خاک‌رخ ایجاد می‌کنند و بنابراین از شرایط نامطلوب رطوبت و دما اجتناب می‌کنند. متأسفانه در خاک‌هایی که به وسیله‌ی خاک‌پوش پس‌مانده‌های گیاهی حفاظت نشده باشند، یک یخ‌بندان سنگین ناگهانی در پاییز ممکن است کرم‌ها را قبل از این‌که بتوانند به اعماق خاک‌رخ حرکت کنند از بین ببرد.

سایر عوامل که جمعیت کرم‌های خاکی را کاهش می‌دهد شکارچیان آن‌ها (موش کور، موش معمولی، کنه‌های به‌خصوص هزارپایان)، خاک‌های خیلی شنی (شاید بخشی به دلیل اثرسایتدگی دانه‌های تیز شن)، تماس مستقیم با کود آمونیاک، مصرف حشره‌کش‌های خاص (به‌خصوص کاربامایدها) و شخم و شیار می‌باشند. عامل آخری، برجسته‌ترین عامل محدودکننده‌ی جمعیت کرم‌های خاکی در خاک‌های زراعی می‌باشد. نظام خاک‌ورزی کمینه^۱ با پس‌مانده‌های گیاهی زیادی به‌صورت خاک‌پوش در سطح زمین سبب تقویت کرم‌های خاکی می‌شود.

به دلیل حساسیت آن‌ها به خاک و سایر عوامل محیطی، تعداد کرم‌های خاکی به‌طور گسترده‌ای در خاک‌های مختلف متغیر می‌باشد. در خاک‌های جنگلی خیلی اسیدی (اسپدوسول) میانگین تعداد آن‌ها، یک عدد در مترمربع است. در مقابل در خاک‌های چمن‌زارهای حاصل‌خیز (مولی‌سول) و اراضی زراعی با ماده‌ی آلی زیاد که تحت مدیریت خاک‌ورزی کمینه می‌باشند تا ۵۰۰ عدد در مترمربع یافت می‌شوند. معمولاً تعداد آن‌ها در خاک‌های زراعی از ۳۰ تا ۳۰۰ عدد در مترمربع که معادل ۳۰۰ هزار تا ۳ میلیون در هکتار باشد، تغییر می‌کند.

یک روش ساده برای برآورد جمعیت کرم‌های خاکی در چمن‌زارها و خاک‌های زراعی عبارت از کندن چاله‌ای به عمق ۲۵ تا ۳۰ سانتی‌متر است. در شرایط نسبتاً مرطوب خنک، به‌طور متوسط وجود ۵ تا ۱۰ کرم خاکی در هر ییل خاک که برگردانده می‌شود قابل‌انتظار می‌باشد، که بیانگر حالت نسبتاً معقول سلامت بوم‌زیست خاک است.

۵-۱۱ موریانه‌ها

موریانه‌ها، که بعضی مواقع مورچگان سفید نامیده می‌شوند، مهم‌ترین عوامل تجزیه‌ی مواد آلی در داخل و یا روی خاک می‌باشند. حدود ۲۰۰۰ گونه موریانه شناخته شده است که در بین آن‌ها چندین گونه وجود دارند که معمولاً نقب‌های محافظ در خاک ایجاد می‌کنند که آن‌ها را قادر می‌سازد به ساختمانهای چوبی بدون سپرهای محافظ فولادی حمله برد. و سپس آن‌ها را نابود سازند. موریانه‌ها در ۲/۳ سطح اراضی کسر زمین یافت می‌شوند اما در چمن‌زارها (علف ساوانا) و جنگل‌های گرمسیری و نیمه‌گرمسیری (مرطوب و نیمه‌مرطوب) بسیار فراوان می‌باشند. میزان فعالیت آن‌ها قابل‌مقایسه با کرم‌های خاکی می‌باشد. در حدود ۱۶ میلیون موریانه در یک هکتار جنگل گرمسیری پهن‌برگ آماربرداری شده است. در مناطق گرمسیر خشک تر (با کمتر از ۸۰۰ میلی‌متر باران) موریانه‌ها از کرم‌های خاکی بیشتر می‌باشند.

فعالیت‌های تپه‌سازی

موریانه‌ها جانورانی اجتماعی بوده که در دخمه‌های بسیار پیچیده از آشیانه‌ها، گذرگاه‌ها و دالان‌ها که در روی و یا زیرزمین ایجاد می‌کنند زندگی می‌کنند. تپه‌های موریانه‌ها که از ذرات خاک به هم چسبیده تشکیل شده است چهره مشخص بسیاری از اراضی در آفریقا، آمریکای لاتین، استرالیا و آسیا می‌باشد (شکل ۷-۱۱). این تپه‌ها و شبکه‌ی گذرگاه‌های زیرزمینی و فرار راه‌های پوشیده روی زمین که مشخصاً حدود ۲۰ تا ۳۰ متر در اطراف تپه‌ها توزیع یافته‌اند. اساساً «شهرهای» موریانه‌ها نامیده می‌شود. گرچه گونه‌های اندکی، از گیاهان چوبی زنده و چوب‌های مرده‌ی سخت تغذیه می‌کنند، اکثر موریانه‌ها بر روی مواد چوبی در حال فساد و پس‌مانده‌های گیاهی می‌زیند. گونه‌های متعددی مانند *Macrotermes spp* در آفریقا از پس‌مانده‌های گیاهی برای کشت قارچ‌ها در تپه‌های خود به‌عنوان ماده‌ی غذایی سود می‌برند. در ساختن تپه‌های خود موریانه‌ها خاک را از لایه‌های پایین به سطح آورده، و بنابراین خاک را به‌طور وسیعی مخلوط کرده و با پس‌مانده‌های گیاهی، که به‌عنوان غذا استفاده می‌کنند مخلوط می‌کنند. با جمع‌آوری و از منطقه وسیعی در اطراف هر تپه، این حشرات تا

^۱ - Minimum tillage

حدود ۴۰۰۰ کیلوگرم در هکتار برگ و مواد چوبی را که بخش عمده‌ای از لاشیرگ گیاهی تولید شده در بسیاری از نظام‌های زیست‌بوم گرمسیری است، برداشت می‌کنند. آن‌ها هر سال ۳۰۰ تا ۱۲۰۰ کیلوگرم خاک را برای فعالیت‌های ساخت تپه‌ها حرکت می‌دهند. این فعالیت‌ها اثرات مهمی بر روی تشکیل خاک، حاصل‌خیزی، و توان تولیدی فعلی خاک دارد.

مقدار خاک مصرف‌شده در تپه موریانه‌ها می‌تواند بسیار عظیم باشد، تا بیشتر از ۴/۴ میلیون کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (با توجه به فصل ۴، ۱۵ سانتی‌متر عمق خاک در یک هکتار حدود ۲/۲ میلیون کیلوگرم وزن دارد). بر حسب گونه و شرایط محیطی، ممکن است موریانه‌ها تپه‌های با ارتفاع ۶ متر و یا بیشتر ایجاد کرده و برای دسترسی به رطوبت و یا لایه رسی آن‌ها به راحتی تا عمق بیشتری در داخل خاک گسترش دهند. هر تپه زیست‌گاهی برای تعداد حدود یک میلیون و یا بیشتر موریانه تأمین می‌کند. تپه‌ها بعد از ۱۰-۲۰ سال متروکه شده و می‌توانند برای تسطیح و کشت‌وکار از بین روند. کوشش برای تسطیح یک تپه مسکونی معمولاً با شکست مواجه می‌شود، زیرا موریانه‌ها به سرعت آن‌را بازسازی می‌کنند مگر این‌که ملکه آن‌ها نابود شود.

تأثیر موریانه‌ها بر توان تولید خاک

بر خلاف کرم‌های خاکی، موریانه‌ها معمولاً اثر مفیدی بر توان تولیدی خاک ندارند، زیرا فرایند هضم که به یاری ریزجانداران روده آن‌ها انجام می‌شود، بسیار کارآتر از ریزجانداران کرم خاکی است. کرم‌های خاکی همچنین سبب مخلوط شدن ماده‌ی آلی به‌داخل خاک در یک حالت نسبتاً یکنواخت در هر هکتار زمین می‌شود. درمقابل موریانه‌ها سبب مخلوط‌شدن موضعی پس‌مانده‌های گیاهی به‌داخل خاک لانه خود شده و بقیه سطح اراضی از پس‌مانده‌های گیاهی برهنه می‌شود. این رفتار موریانه‌ها می‌تواند سطح مزارع را از مزایای خاک‌پوش پس‌مانده‌های گیاهی شدیداً محروم سازد (شکل ۸-۱۱ را مشاهده کنید).

رشد گیاهان روی خاک‌های تپه‌های موریانه‌ها: مواد موجود در تپه موریانه‌ها اغلب دارای ماده‌ی آلی و میزان عناصر غذایی کمتری در مقایسه با خاک‌های سطحی دست‌نخورده اطراف می‌باشد، زیرا موریانه‌ها پشته‌های خود را عمدتاً با استفاده از خاک تحت‌الارضی می‌سازند که مشخصاً دارای ماده‌ی آلی کمتر از خاک سطحی می‌باشد. گیاهان در خاک‌هایی که زمانی جزء این تپه‌ها بوده‌اند نه تنها به خاطر عناصر غذایی اندک در خاک سطحی، بلکه به‌دلیل وزن مخصوص بیشتر بعضی از خاک‌های این تپه‌ها که ذرات آن‌ها هنگام ساختن به‌وسیله‌ی موریانه‌ها به هم پیوند یافته‌اند دارای رشد ضعیفی می‌باشد. هرچند اگر خاک تحت‌الارضی از نظر عناصر غذایی غنی‌تر از خاک سطحی باشد و یا در مقایسه با یک خاک سطحی شنی غیرحاصل‌خیز، غنی از رس باشد، ممکن است خاک‌های حاصل از این تپه‌های متروکه به‌دلیل قابلیت استفاده بیشتر فسفر، پتاسیم، کلسیم و رطوبت جزایری را با میزان تولید بالا به‌وجود آورند. این مسئله در خاک‌های زردار با سطح ایستایی بالا نیز صادق است. تپه موریانه‌ها جزایری با زه‌کشی و تهویه بهتر را ایجاد می‌کند که سبب رشد به‌مراتب بهتر گیاهان می‌شود. در بعضی از مناطق به‌خصوص نیمه‌خشک (ساوانا) آب‌روهای بزرگ پایدار ایجاد شده به‌وسیله‌ی موریانه‌ها نفوذ آب را به‌داخل خاک به‌مقدار زیاد افزایش می‌دهند، که در غیراین‌صورت سبب تمایل به ایجاد سله سطحی غیرقابل نفوذ می‌گردند (شکل ۸-۱۱ را مشاهده کنید).

فعالیت موریانه‌ها عاملی مهم در تشکیل خاک‌های گرمسیری و نیمه‌گرمسیری می‌باشد (فصل ۲ را مشاهده کنید). این حشرات همچنین دارای هم اثرات مثبت و هم اثرات منفی بر روی نوع استفاده جاری در این مناطق می‌باشد. آن‌ها سبب تسريع فساد درختان مرده و علف‌ها می‌شوند. اما آن‌ها با ایجاد سریع لانه‌ها و یا تپه‌ها، همچنین سبب قطع تولید محصولات زراعی و حتی جاده‌سازی می‌گردد. قبل از ترک موضوع موریانه‌ها باید تذکر داد که سوخت‌وساز باکتریایی در روده این حیوانات بسیار فراوان در خاک، مسوول بخش بزرگی از تولید جهانی گاز متان (CH_4) می‌باشد که یک گاز مهم گل‌خانه‌ای است (فصل ۱۲ را مشاهده کنید).

۱۱-۶ ریزجانوران خاک

از نقطه نظر حیوانات میکروسکوپی، خاک بسیاری از زیستگاه‌ها را که اساساً آبی می‌باشد دست‌کم به تناوب معرفی می‌کند. به این دلیل، ریزجانوران خاک در ارتباط نزدیک با ریزجانداران موجود در آب‌ها می‌باشند. دو گروه که بیشترین تأثیر را در فرایند خاک دارا هستند نماتدها و تک‌پایه‌ها می‌باشند.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۷-۱۱ تپه‌ی مورخانه در مزارع تحت کشت و کار در آفریقا (الف) یک تپه‌ی مورخانه در مزرعه ذرت (ب) نیم‌رخ بریده شده یک تپه دیگر که نشان‌دهنده‌ی اندازه و عمق دالان‌های زیرزمینی می‌باشد. (ج) مورخانه‌ها قطعاتی از برگ بریده شده را به داخل لانه زیرزمینی می‌کشاند.

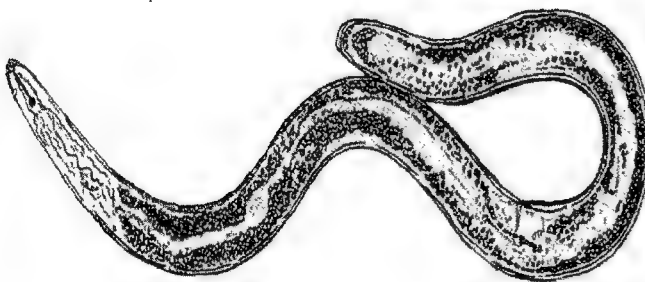


شکل ۸-۱۱ موریانه‌ها به سرعت سبب ناپدید شدن این پس‌مانده‌های ذرت خوشه‌ای شده و خاک‌های شنی حساس به فرسایش را از مزایای خاک‌پوش حفاظتی محروم می‌کنند. گرچه موریانه‌ها سبب ایجاد آبراهه‌های درشت پایدار متعددی می‌شوند که سبب گرفتن آب حاصل از بارندگی در مزرعه در این خاک واقع در منطقه ساحل آفریقای غربی می‌گردد. به اندود خاک که موریانه‌ها به دور قسمتهای از پس‌مانده‌های گیاهی ایجاد کرده‌اند توجه کنید. در زیر این اندوده‌ها موریانه‌ها از خشک شدن به وسیله آفتاب و باد مصون می‌مانند. تیغه چاقو در عکس دارای ۷ سانتی‌متر طول است.

نماتدها

به‌طور معمول کرم‌های نغ مانند^۱ و یا کرم‌های مارماهی^۲ مانند نامیده می‌شوند. تقریباً در تمام خاک‌ها به‌صورتی تعجب‌آور در حد فراوان یافت می‌شوند (جدول ۲-۱۱) آن‌ها کرم‌های نازک غیربندند گرد بوده و قطر آن‌ها ۰.۱-۰.۴ میکرومتر و طول آن‌ها به چندین میلی‌متر می‌رسد (شکل ۹-۱۱). بنابراین آن‌ها به‌ندرت با چشم غیرمسلح دیده می‌شوند.

خاک‌های شنی مرطوب به‌طور شاخص دارای جمعیت زیاد نماتد می‌باشند، زیرا دارای منافذ فراوان با اندازه‌ای چنان درشتند که با فعالیت شناکردن این موجودات فعال سازگاری دارند. وقتی منافذ درشت خشک می‌شوند، نماتدها با پیچیدن به دور خود در یک حالت پنهان زیست^۳ به حیات خود ادامه می‌دهند که به شرایط محیطی غیرقابل نفوذ بوده و اکسیژن قابل توجهی را برای فرایند تنفسی دریافت نمی‌کنند. در اراضی مرتعی مناطق نیمه‌خشک فعالیت نماتدها محدود به چند روز بعد از نزول باران است، که نماتدها را از حالت پنهان زیست بیدار می‌کند.



شکل ۹-۱۱ نماتی که معمولاً در خاک یافت می‌شود (۱۲۰ برابر بزرگ شده است). بیشتر از ۱۰۰۰ گونه نماتد در خاک شناخته شده است. بیشتر نماتدها از باکتری‌ها و قارچ‌ها تغذیه می‌کنند، اما گونه‌های انگلی می‌توانند برای رشد گیاهان بسیار زیان‌آور باشند.

شکارکردن: نماتدها از گروه بسیار وسیعی تشکیل شده‌اند. اکثر نماتدها شکارچی سایر تماندها، قارچ‌ها، باکتری‌ها، جلبک‌ها، تک‌یاخته‌گان و نوزاد حشرات می‌باشند. بنابراین نماتدهای شکارچی خاص به‌عنوان عوامل مبارزه‌ی زیستی برای حشرات آفت دارای منشاء خاکی مانند کرم ریشه‌ی ذرت (یک روش بسیار مناسب زیست‌محیطی در مقایسه با مصرف آفت‌کش‌های سمی) فروخته می‌شوند. یک نماتد باکتری‌خور در شکل ۱۰-۱۱ همراه با سایر ریزجانداران خاک در اندازه‌های مختلف نشان داده شده است. چرای نماتدها

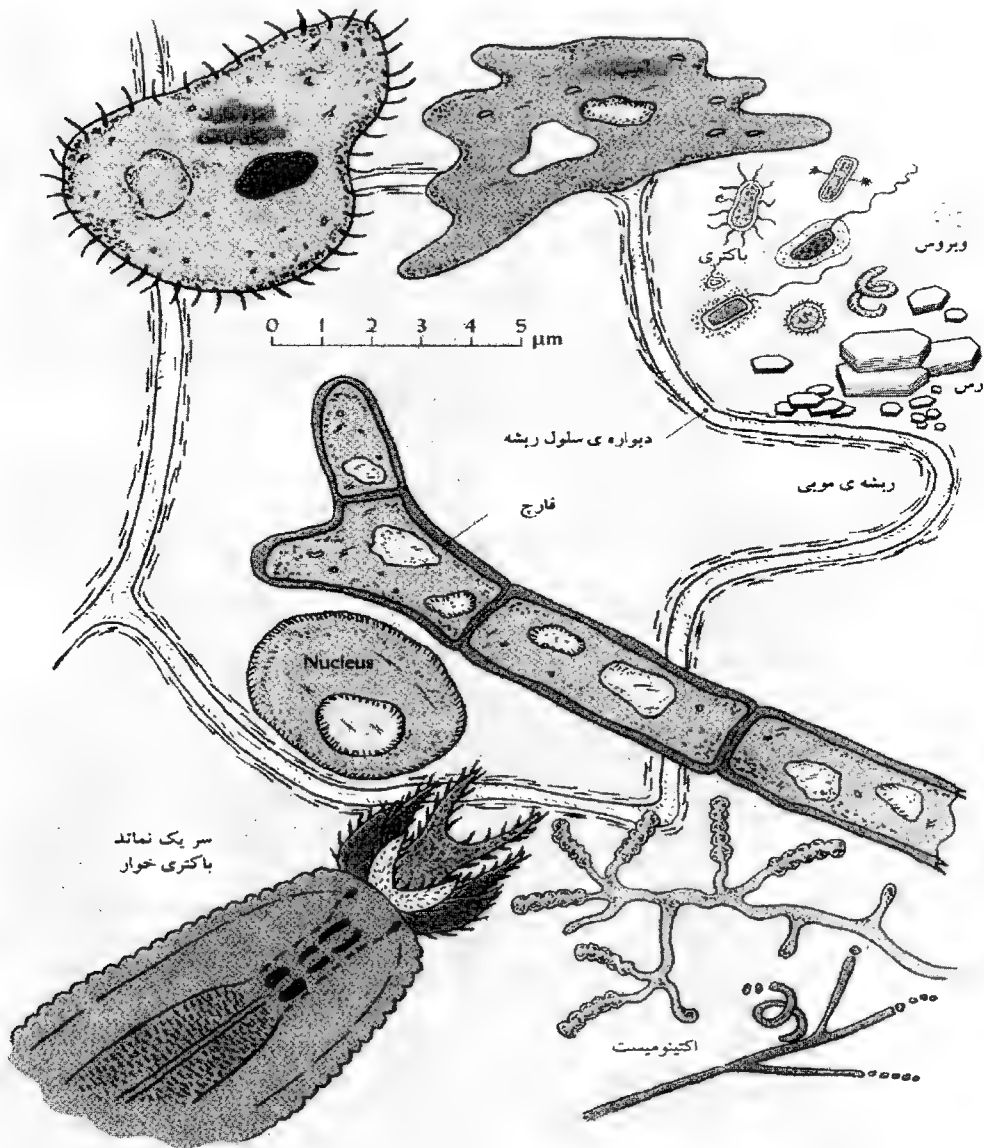
^۱ - Threadworms

^۲ - Eel worms

^۳ - Cryptobiotic

می‌تواند تأثیر مشخصی بر رشد و فعالیت قارچ‌ها و باکتری‌ها داشته باشد. از آنجاکه باکتری‌ها نیتروژن بیشتری از آنچه نماتدها مصرف می‌کنند دارا است، فعالیت نماتدها می‌تواند چرخه و آزادشدن نیتروژن قابل‌استفاده گیاهان را سبب گردد که در بعضی بوم‌سامان‌ها حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد نیتروژن آزاد شده را شامل می‌شود.

انگل نباتات: بعضی از نماتدها، به‌خصوص آن‌هایی که دارای جنس *Heterodera* می‌باشند می‌توانند ریشه‌ی تمام گیاهان را با سوراخ کردن به‌وسیله‌ی قطعات نیزه‌مانند دهانی خود مورد تهاجم قرار دهند. این جراحات سبب الودگی با عوامل بیماری‌زای ثانویه و رشد گره‌هایی بر روی ریشه گیاهان می‌شود. آلودگی‌های کم‌اهمیت نماتدها تقریباً در همه جا شایع بوده و معمولاً از نظرها پنهان می‌ماند گرچه آلودگی‌های شدیدتر از یک سطح آستانه سبب توقف شدید رشد می‌شود. نماتدهای تولیدکننده کیست (کیسه تخم)^۱ آفت مهم لویا روغنی بوده و نماتدهایی که روی ریشه گیاهان گره ایجاد می‌کنند، آفت درختان میوه و خانواده گوجه‌فرنگی می‌باشند (شکل ۱۱-۱۱).



شکل ۱۱-۱۰ برداشتی از گروه‌های ریزجانداران معرف در خاک، که اندازه نسبی آن‌ها را نشان می‌دهد.

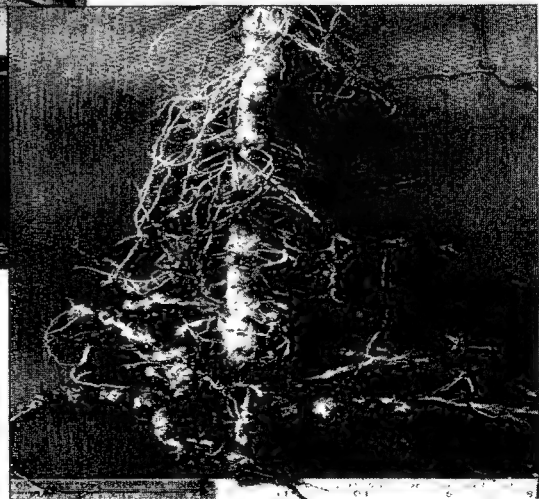
^۱ - Cyst (egg – sac)

مبارزه با نماتدها: تا این اواخر روش اصلی مبارزه با نماتدهای انگل نباتات، برقراری تناوب طولانی با گیاهان غیرمیزبان (معمولاً ۵ سال برای ازین رفتن جمعیت نماتدهای انگل به میزان کافی لازم می‌باشد)، استفاده از ارقام گیاهان دارای مقاومت توارثی و ضد عفونی کردن خاک با پخش بخارات سمی مواد شیمیایی نماتدکش بود. استفاده از نماتدکش‌های خاکی، مانند متیل پرومید، به‌خاطر اثرات محیطی نامطلوب به‌شدت قدغن گردیده است (بخش ۱۵-۱۱ را مشاهده کنید).

رهیافت‌های جدید کمتر خطرناک مبارزه با نماتدها شامل استفاده از پوست درختان سخت‌چوب در گیاهان گل‌خانه‌ای و کشت درهم محصولات حساس مزرعه‌ای با دو رقم کلزا (کانولا) و ماری‌گولد می‌باشد هر دو رقم شیرابه‌های ترشح می‌کنند که دارای خاصیت نماتدکشی می‌باشد. تلاش‌های برای ایجاد ارقام مقاوم به نماتدها در نباتاتی مانند سویا به‌عمل آمده است. معمولاً یک مجموعه از ارقام مختلف در سال‌های متوالی برای جلوگیری از افزایش جمعیت نماتدهای انگل کشت می‌شوند.

تک‌یاخته‌گان

تک‌یاخته‌گان موجودات تک‌یاخته‌ای متحرک می‌باشند که غذای خود را محاصره کرده و مجبوس می‌کنند. آن‌ها متنوع‌ترین و پرتعدادترین ریزجانوران خاک می‌باشند (گرچه اغلب به‌صورت جانور طبقه‌بندی نشده و به‌صورت پروتیستا^۱ طبقه‌بندی گردیده‌اند). شکل ۱۱-۱۲ و جدول ۱۱-۲ را مشاهده کنید. این تک‌یاخته‌گان به‌مراتب بزرگ‌تر از باکتری‌ها بوده و قطر آن‌ها در فاصله ۱۰۰-۶ میکرون قرار دارد. یاخته آن‌ها دارای دیواره یاخته‌ای واقعی نبوده، و مشخصاً دارای سازمانی بسیار پیچیده‌تر از یاخته باکتری‌ها می‌باشند. تک‌یاخته‌گان^۲ خاک شامل آمیب‌ها^۳ (که با انبساط و انقباض پاهای کاذب خود حرکت می‌کنند)، مژه‌داران^۴ (که با حرکت دادن ساختارهای مویی به‌حرکت در می‌آیند (شکل ۱۱-۱۱)). و تاژک‌داران^۵ (که با ضمایم تازیانه‌مانند که تاژک نامیده می‌شود حرکت می‌کنند).



شکل ۱۱-۱۱ (چپ) گیاهان تنیاکو با توقف رشد در جلو عکس و با رشد زیاد در عقب عکس که هر دو مدیریت یکسانی را دریافت داشته‌اند. بررسی شبکه‌ی ریشه گیاه بدون رشد نشان داد که شدیداً به‌وسیله‌ی نماتدهای ایجادکننده‌ی گره در ریشه آلوده گردیده که سبب توقف ریشه‌ها و ایجاد تغییر شکل‌های گره‌مانند شده است.

^۱ - Protista
^۲ - Protozoa
^۳ - Amoeba
^۴ - Ciliata
^۵ - Flagellata

تک‌پاخته‌گان همانند نماتدها در منافذ پر از آب داخل خاک شنا کرده و می‌توانند در صورت خشک شدن خاک و یا کمبود مواد غذایی وارد مرحله استراحت (کیست) شوند. بیشتر از ۳۵۰ گونه تک‌پاخته در خاک‌ها جدا شده‌اند، بعضی مواقع حدود ۴۰ تا ۵۰ دسته در یک نمونه خاک یافت می‌شود. وزن تک‌پاخته‌گان زنده در خاک سطحی در حد ۲۰۰-۲۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد (جدول ۲-۱۱). تعداد قابل توجهی از امراض حیوانی و انسانی مربوط به آلودگی‌های تک‌پاخته‌گانی است که عمدتاً منشأ آبی (در مقابل خاکی) دارند. بیشتر تک‌پاخته‌گان خاکزی از باکترهای خاک تغذیه کرده و تأثیر بسیار زیادی بر این ریزگیاهان خاکی اعمال می‌کنند.

این موجودات معمولاً به بهترین وجه در خاک‌های مرطوب دارای تهویه خوب رشد نموده و تعداد آن‌ها در افق‌های سطحی بسیار زیاد است. برای تعقیب باکتری‌ها، بعضی از تک‌پاخته‌گان خاکزی قادرند از منافذی به کوچکی ۱۰ میکرون خود را عبور دهند، تک‌پاخته‌گان در محدوده‌ی اطراف ریشه گیاهان (ریزوسفر) مخصوصاً فعال می‌باشند. نقش اصلی آن‌ها بر روی تجزیه‌ی ساده‌ی آلی و آزاد شدن عناصر غذایی از طریق تأثیر آن‌ها بر جمعیت باکتریایی خاک می‌باشد.

۷-۱۱ ریشه‌ی گیاهان عالی

گیاهان عالی انرژی آفتاب را ذخیره کرده و تولیدکنندگان اصلی مواد آلی (شکل ۲-۱۱) می‌باشند. ریشه آن‌ها در خاک رشد کرده و از بین می‌رود و در این کتاب به‌عنوان موجود خاکزی تقسیم‌بندی شده است. این ریشه‌ها به‌طور شاخص حدود ۱ درصد حجم خاک را اشغال کرده و مسوول ۱/۴ تا ۱/۳ تنفس رخداده در خاک است. ریشه‌ها معمولاً برای کسب اکسیژن با موجودات دیگر در رقابت می‌باشند، اما آن‌ها اکثر کربن و انرژی مورد نیاز جوامع گیاهی و جانوری خاک را تأمین می‌کنند. فعالیت ریشه گیاهان معمولاً در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها مؤثر بوده و اثرات خاص وابسته به نوع خاک و گیاه مورد نظر می‌باشد (بخش ۸-۷ را مشاهده کنید). همان‌طور که بعدها خواهیم دید، ریشه‌های گیاهان با سایر جانداران خاک از راه‌های مختلف و پیچیده در تعامل می‌باشند.

ریخت‌شناسی ریشه

بسته به اندازه آن‌ها، ریشه‌ها می‌توانند به‌عنوان متوسط^۱ و ریزجانداران^۲ مورد ملاحظه قرار گیرند. ریشه‌های تغذیه‌کننده ریز دارای قطری در حد ۱۰۰ تا ۴۰۰ میکرون می‌باشند، در صورتی که ریشه‌های مویی دارای قطری فقط در حدود ۱۰ تا ۵۰ میکرون بوده که از نظر اندازه شبیه رشته قارچ‌های میکروسکوپی می‌باشند، ریشه‌های مویی بیرون‌زدگی دراز شده یک یاخته لایه‌ی خارجی (اپی‌درم) می‌باشند (شکل ۱۳-۱۱ را مشاهده کنید).

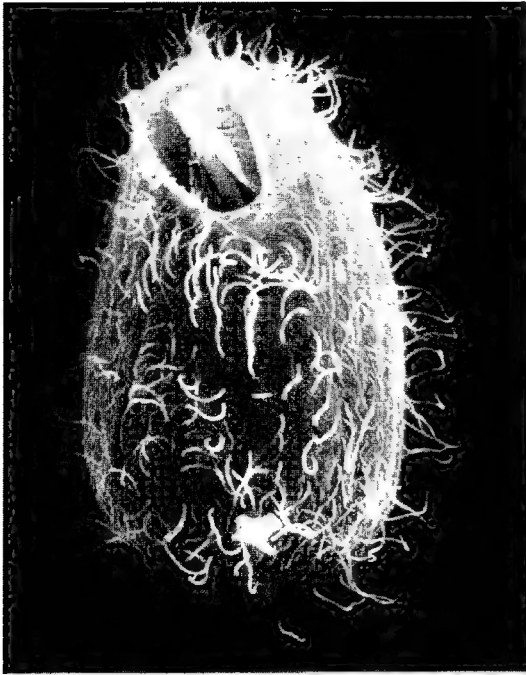
یکی از وظایف ریشه‌های مویی درجا نگه‌داشتن ریشه هنگام تلاش در بازکردن راه خود در داخل خاک می‌باشد. نقش دیگر افزایش سطح ریشه‌ها برای جذب آب و عناصر غذایی از محلول خاک است.

ریشه‌ها با تشکیل و توسعه یاخته‌های جدید در محل زایشی ریشه (لایه مرستم) که درست قبل از نوک ریشه قرار گرفته رشد می‌کنند. نوک ریشه به‌وسیله‌ی یک کلاهک محافظ پوشیده شده است. این کلاهک از یاخته‌های قابل انبساط تشکیل یافته که با نفوذ ریشه‌ها به‌داخل خاک آن‌ها جدا می‌شوند. ریخت‌شناسی ریشه تحت تأثیر نوع نبات و شرایط خاک است. برای مثال، ریشه‌های نازک در مواضعی که دارای غلظت‌های بالای عناصر غذایی می‌باشند توسعه می‌یابند. تشکیل ریشه‌های موین بر اثر تماس با ذرات خاک و یا تأمین عناصر اندک غذایی تحریک می‌شود. بسیاری از ریشه‌ها در پاسخ به وزن مخصوص ظاهری بالا و غلظت زیاد آلومینیوم در محلول خاک ضخیم و خشی می‌شوند (فصل ۴ و ۹ را مشاهده کنید).

ریشه‌های زنده با فشار آوردن به داخل ترک‌های موجود و ایجاد منافذ جدید در اثر رشد خود سبب تغییر فیزیکی خاک می‌شوند. اندازه‌ی شکاف‌های باریک اولیه با توسعه و رشد ریشه‌ها افزایش می‌یابد. ریشه گیاهان با برداشت رطوبت از خاک پیوندهای آلی-کانی را تثبیت کرده، سبب انقباض و ترک خوردن خاک گردیده و در نتیجه خاکدانه‌سازی را تقویت می‌کند. مواد مترشحه ریشه سبب حفظ هزاران نوع از ریزجانداران خواهد شد، که آن‌ها نیز به ثبات خاکدانه‌ها کمک خواهند کرد. به‌علاوه، وقتی ریشه‌ها نابود شده و مورد تجزیه قرار می‌گیرند، مواد لازم را برای ساختن هموس، نه‌تنها در چند سانتی متری فوقانی، بلکه در اعماق بیشتر خاک فراهم می‌آورند.

^۱ - Mesoorganism

^۲ - Microorganism



(الف)

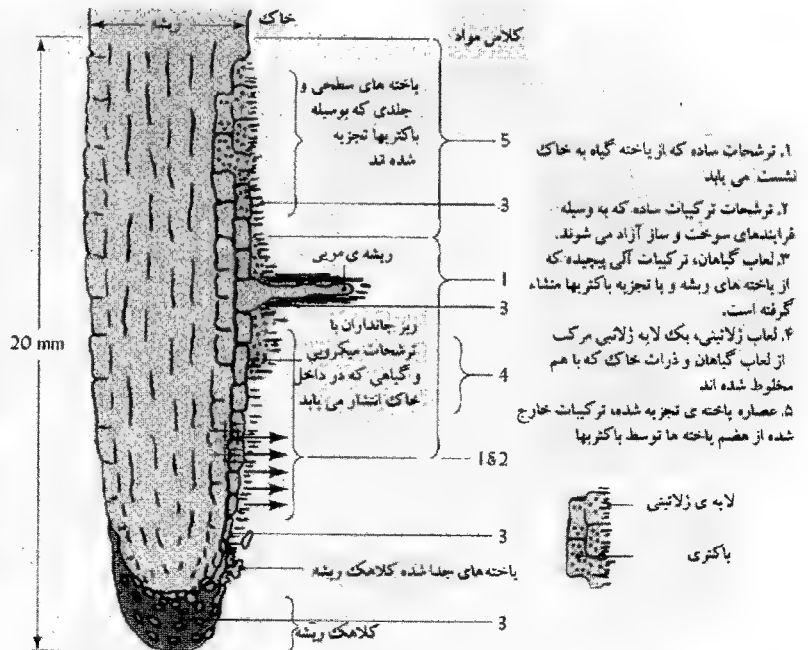


(۱)

شکل ۱۲-۱۱ دو ریزجانور شاخص که در خاک یافت می‌شوند. (الف) ریزعکس الکترونی ردیابی یک تک‌باخته مژه‌دار *Glaucoma scintillaus*. ریزعکس دو گونه روتیفر، *Rotaria rotatoria* (نوع کوتاه و ضخیم سمت چپ) و *Philodina, acuticornus* (نازک، سمت راست)



(الف)



(ب)

شکل ۱۳-۱۱ (الف) یک عکس از انتهای ریشه که تشریح می‌کند چگونه ریشه‌ها در داخل خاک انتشار یافته و بر یاخته‌های ریشه تاکید دارد که در داخل آن‌ها آب و مواد غذایی به بالای نبات جریان می‌یابد (ب) شکلی از ریشه که منشاء مواد آلی را در ریزوسفر نشان می‌دهد.

مقدار بافت گیاهی آلی اضافه‌شده

اهمیت پس‌مانده‌های گیاهی برای حفظ ماده‌ی آلی خاک اغلب کمتر مورد نظر بوده است. در چمن‌زارها آتش‌سوزی ممکن است اکثر زیتوده را در سطح زمین از بین ببرد بنابراین شبکه‌ی عمیق تراکم ریشه منبع عمده‌ی ماده‌ی آلی اضافه‌شده به این خاک‌ها می‌باشد. در درخت‌کاری‌ها و جنگل‌های طبیعی بیشتر از نصف زیتوده تولیدشده به‌صورت ریشه درختان می‌باشد. در خاک‌های زراعی، جرم ریشه‌های باقی‌مانده در خاک بعد از برداشت محصول معمولاً ۴۰-۱۵ درصد محصول در سطح زمین است. اگر رقم متوسط ۲۵٪ در نظر بگیریم، می‌توان انتظار داشت که یک محصول خوب یولاف، ذرت و نیشکر به ترتیب حدود ۲۵۰۰، ۴۵۰۰ و ۸۵۰۰ کیلوگرم درهکتار پس‌مانده‌های ریشه گیاهان را برجای گذارند. جرم ترکیبات آلی ناشی از ریشه‌ی گیاهان وقتی اثرات ریزوسفر (که در بخش‌های زیر بررسی خواهد شد) مورد ملاحظه قرار گیرد حتی از این ارقام نیز بیشتر خواهد شد.

ریزوسفر

منطقه‌ای از خاک که به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای تحت تأثیر ریشه‌های زنده قرار دارد ریزوسفر نامیده شده و معمولاً تا حدود ۲ میلی‌متر خارج از سطح ریشه نبات توسعه دارد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی این منطقه می‌تواند از کل خاک متفاوت باشد. اسیدیته خاک در ریزوسفر ممکن است ۱۰ بار بیشتر و یا کمتر از کل خاک باشد. ریشه‌ها در این منطقه از یک طرف با خارج‌ساختن عناصر غذایی محلول و از طرف دیگر با محلول‌نمودن عناصر غذایی موجود در کانی‌ها در تأمین عناصر غذایی بسیار مؤثر می‌باشند. با این طریق و دیگر راه‌ها ریشه‌ها در تغذیه‌ی میکروب‌های خاک مؤثرند، درست به‌همان ترتیب که میکروب‌های خاک نیز در عناصر غذایی قابل‌استفاده ریشه گیاه مؤثر می‌باشد.

نهشته‌های ریزوسفر^۱: مقادیر قابل‌توجهی حداقل از سه نوع ترکیبات آلی متنوع از سطح ریشه‌های جوان گیاهان ترشح می‌شوند (شکل ۱۱-۱۳) که عبارتند از:

(۱) ترکیبات آلی با وزن مولکولی اندک که از یاخته‌های ریشه ترشح یافته و شامل اسیدهای آلی، قند، اسیدهای آمینه و ترکیبات فنلی می‌باشد. بعضی از این مواد مترشحه ریشه، به‌خصوص فنل‌ها، اثرات تنظیم رشد بر سایر گیاهان و ریزجانداران خاک در پدیده‌ای به‌نام دگرآزاری (آللوپاتی^۲) (فصل ۱۰-۱۲ را مشاهده کنید) اعمال می‌کنند.

(۲) فضولات^۳ دارای وزن مولکولی زیاد که به‌وسیله‌ی یاخته‌های کلاهک ریشه و یاخته‌های سطح رویی در منطقه‌ی رأس ریشه ترشح شده، و وقتی با یاخته‌های میکروبی و ذرات رس مخلوط شوند موسیجل^۴ نامیده می‌شوند. به‌نظر می‌رسد این موسیجل که دارای چندین نقش مفید باشد: سبب روغن‌کاری ریشه‌ها هنگام حرکت آن‌ها در داخل خاک می‌شود؛ سبب تماس هرچه بیشتر ریشه و خاک به‌خصوص در خاک‌های خشک، که اندازه ریشه‌ها انقباض پیدا کرده و تماس ضعیفی با خاک دارند می‌گردد (شکل ۳۸-۵ را مشاهده کنید)؛ سبب حفاظت ریشه از مواد شیمیایی سمی در خاک‌ها می‌شود؛ و یک محیط مطلوب را برای رشد ریزموجودات ریزوسفر فراهم می‌کند.

(۳) یاخته‌های کلاهک ریشه و یاخته‌های سطحی با رشد ریشه گیاهان مداوماً پوسته‌اندازی نموده و محتوی ریشه خود را به‌داخل ریزوسفر ریخته و آن‌را با بافت‌های یاخته‌ای مختلف غنی می‌سازند. روی‌هم‌رفته ممکن است این نهشته‌های ریزوسفری ۲ تا ۳۰ درصد وزن کل خشک تولیدشده به‌وسیله‌ی گیاهان جوان را تشکیل دهند. بوته‌های محصولات دانه‌ای و سبزی‌ها ۵ تا ۴۰ درصد مواد آلی دریافت‌شده به‌وسیله‌ی ساقه‌های خود را ترشح می‌کنند. وقتی گیاهی با دقت در یک خاک سست با ریشه بیرون آورده می‌شود، ترشحات ریشه یک لایه نازک خاک را در مجاورت ریزوسفر به‌صورت سبزی به دور انتهای ریشه‌های در حال رشد فعال، ایجاد می‌کند (شکل ۱۴-۱۱ را مشاهده کنید). در گیاهان یک‌ساله، ممکن است میزان مواد آلی که به‌وسیله‌ی ریزوسفر در طول فصل رشد از دست می‌رود از ۲ برابر مقدار باقی‌مانده در نظام ریشه در پایان فصل رشد بیشتر باشد. نهشته‌های ریزوسفر با افزایش سن نبات کاهش یافته، اما با تنش‌های خاکی، مانند تراکم و کمبود عناصر غذایی، افزایش می‌یابد.

به‌دلیل ترشحات مواد کربن‌دار و عوامل خاص رشد (مانند ویتامین‌ها و اسید آمینه‌ها) تعداد میکروب‌ها در ریزوسفر ۲ برابر داخل خاک بوده (بعضی مواقع به آن نسبت R/S می‌گویند که از ۲ تا ۱۰ تغییر می‌کند).

^۱ - Rhizodeposition

^۲ - Allelopathy

^۳ - mucilage

^۴ - mucigel

فرایندهایی که تشریح گردید روشن می‌کنند که چرا ریشه گیاهان از مهم‌ترین جانداران بوم‌سامان خاک می‌باشند.



شکل ۱۴-۱۱ منطقه‌ای از خاک در ۱ تا ۲ میلی‌متری ریشه گیاهان زنده، ریزوسفر نامیده می‌شود. این منطقه از ترکیبات آلی که به‌وسیله ریشه‌ها ترشح می‌شود بسیار غنی می‌باشد. این لعاب‌ها و ریزجائورانی که در روی آن یافت می‌شوند باعث می‌گردند که ریزوسفر خاک به ریشه بعضی از این گندم‌ها همانند سبزی پیچسب (ریشه‌ها در سمت راست، به پیکان توجه کنید) ریشه‌ها در قسمت چپ عکس در آب شسته شده و خاک ریزوسفر جدا گردیده است در زمینه پارچه‌ای حوله‌ای مشاهده می‌شود.

۸-۱۱ جلبک‌های خاک

همانند گیاهان عالی، جلبک‌ها شامل یاخته‌های (ایوکاریوتیک^۱) بوده که دارای هسته در داخل یک غشاء هسته‌ای می‌باشند. (موجوداتی که قبلاً جلبک‌های آبی - سبز نامیده می‌شدند پروکاریوت^۲ بوده و بنابراین با باکتری‌ها مورد ملاحظه قرار می‌گیرند) به‌علاوه، همانند گیاهان عالی جلبک‌ها به سبزینه (کلروفیل) مجهز بوده که آن‌ها را قادر می‌سازد فرایند سوخت‌وساز نوری (فتوسنتز) را انجام دهند. جلبک‌ها، به‌عنوان خودپرورهای نوری^۳ نیازمند نور بوده و بنابراین عمدتاً در نزدیکی سطح خاک یافت می‌شوند. (شکل ۱۵-۱۱). بعضی از گونه‌ها همچنین می‌توانند به‌صورت غیرخودپرور در تاریکی ایفای نقش کنند. بعضی از گونه‌ها غیرخودپرور نوری بوده، به این معنی که از نور برای انرژی مورد نیاز استفاده کرده، اما نمی‌توانند تمام مولکول‌های آلی مورد نیاز خود را بازسازی کنند (جدول ۳-۱۱).

اندازه‌ی اکثر جلبک‌ها در فاصله ۲ تا ۲۰ میکرون متغیر است. بسیاری از جلبک‌ها متحرک بوده و در آب منافذ خاک به اطراف شنا می‌کنند. بعضی از آن‌ها از تازک (دمهای شلاق‌مانند) استفاده می‌کنند. اکثر جلبک‌ها در شرایط مرطوب رشد می‌کنند، اما بعضی نیز در محیط‌های سرد و گرم بیابانی مهم می‌باشند. بعضی مواقع رشد جلبک‌ها چنان شدید است که سطح خاک به‌وسیله لایه‌ای سبز و یا قهوه‌ای پوشیده می‌شود. بعضی از جلبک‌ها (و همین‌طور سیانوباکتری‌های خاص) ایجاد گلستگ می‌کنند که مشارکت همزیست با قارچ‌ها می‌باشد. این امر در کلنی‌شدن سنگ و سایر محیط‌های فاقد ماده‌ی آلی بسیار مهم است. زمین‌های لخت در بیابان‌ها به‌وسیله پوسته‌ی جلبک‌ها پوشیده شده است که سبب کاهش تبخیر و فرسایش خاک گشته اما به لگدکوب شدن به‌وسیله احشام و یا خودروهای ویژه بیرون از جاده بسیار حساس می‌باشند.

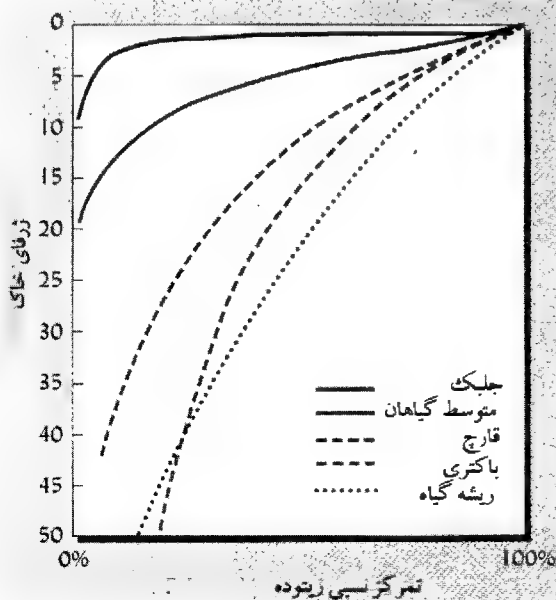
^۱ - Eukaryotic

^۲ - Prokaryote

^۳ - Photoautotrophs

صدها گونه جلبک از خاک‌ها جدا و شناسایی شده‌اند، اما شمار اندکی از آن‌ها در بیشتر خاک‌های سرتاسر جهان دارای اهمیتی زیاد می‌باشند. جلبک‌های خاک در سه دسته عمومی قرار می‌گیرند که عبارتند از: (۱) سبز، (۲) سبز-زرد، و (۳) دیاتومه‌ها. جلبک‌های سبز در خاک‌های مرطوب اما غیرغرقابی اسیدی بسیار فراوانند، دیاتومه‌ها اغلب در خاک‌های خشتی تا قلیایی دارای تهویه خوب. باغچه‌های قدیمی غنی از ماده‌ی آلی فراوان می‌باشند. تعداد جلبک‌های سبز معمولاً از دیاتومه‌ها بیشتر است.

جمعیت جلبک‌ها معمولاً از یک تا ده میلیارد در یک مترمربع خاک با عمق ۱۵ سانتی‌متری متغیر است (۱۰ هزار تا ۱۰۰ هزار یاخته در گرم). جرم جلبک‌های زنده در خاک‌ها ممکن است از ۱۰ تا ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار تغییر کند (جدول ۲-۱۱). علاوه بر تأمین مقدار قابل‌توجهی از ماده‌ی آلی در بعضی از خاک‌های حاصل‌خیز به‌وسیله‌ی جلبک‌ها بعضی از انواع خاص آن‌ها پلی‌ساکارید ترشح می‌کنند که اثرات بسیار مطلوبی بر خاکدانه‌سازی دارند (فصل ۱۰-۴ را مشاهده کنید).



شکل ۱۱-۱۵ توزیع نسبی گروه‌های مختلف موجودات خاک در یک خاک معرف علف‌زار. تراکم نشان داده شده برای هرگروه به‌طور نسبی در ارتباط با حداکثر تراکم آن گروه می‌باشد. تراکم در تمام موجودات حدود ۱۰۰ درصد حداکثر مقدار در سطح خاک می‌باشد. اما زیتوده‌ی مطلق (نشان داده نشده است) در بین گروه‌ها فرق می‌کند برای مثال، زیتوده واقعی در گرم خاک در قارچ‌ها بسیار بیشتر از میانه جانوران (مزوفون) می‌باشند.

۹-۱۱ قارچ‌های خاک

قارچ‌های خاک از گروه‌های فوق‌العاده متنوعی از ریزجانداران تشکیل شده‌اند، حدود ده‌ها هزار گونه در خاک مشخص شده‌اند که ۱۷۰ جنس را شامل می‌شود. حدود ۲۵۰۰ گونه فقط در یک محل مشخص شده‌اند. دانشمندان معتقد هستند حداقل یک میلیون گونه قارچ ناشناخته در خاک در انتظار شناسایی می‌باشند. اگرچه تعداد آن‌ها تا حدی کمتر از باکتری‌ها است، اما اندازه نسبتاً بزرگ آن‌ها سبب غالب بودن زیتوده و فعالیت سوخت‌وساز آن‌ها در بسیاری از خاک‌ها می‌باشد. زیتوده‌ی آن‌ها معمولاً از ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰۰ کیلوگرم در ۱۵ سانتی‌متر فوقانی در یک هکتار خاک زراعی متفاوت است (جدول ۲-۱۱).

قارچ‌ها همانند گیاهان عالی از یاخته‌های هسته‌دار دارای غشاء و دیواره‌های یاخته‌ای برخوردارند (ایوکاریوتیک). قارچ‌ها غیرخودپرورند، و این بدان معنی است که برای تأمین انرژی و کربن مورد نیاز خود وابسته به گیاهان زنده و یا مواد آلی مرده می‌باشند. قارچ‌ها موجوداتی هوازی می‌باشند، گرچه تعدادی از آن‌ها می‌توانند غلظت‌های نسبتاً پایین اکسیژن و مقادیر بالای گازکربنیک را که در خاک‌های مرطوب متراکم یافت می‌شود، تحمل کنند. اگر بخواهیم دقیق‌تر صحبت کنیم قارچ‌ها همگی ذره‌بینی (میکروسکوپی) نیستند، زیرا بعضی از این موجودات مانند قارچ‌های خوراکی چنان ساختمان درشتی تشکیل داده که بدون نیاز به درشت‌نمایی به آسانی قابل‌مشاهده می‌باشند.

برای سهولت بحث، ممکن است قارچ‌ها به سه دسته تقسیم شوند که عبارتند از: مخمرها^۱، کفک‌ها^۲، و قارچ‌های عالی^۳. مخمرها که موجوداتی تک‌یاخته‌ای می‌باشند عمدتاً در خاک‌های ماندابی با شرایط غیرهوازی زندگی می‌کنند. کفک‌ها و قارچ‌های خوراکی به‌عنوان

^۱ - Yeasts

^۲ - Molds

^۳ - Mushroom

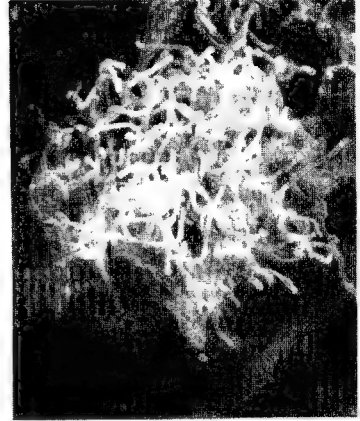
قارچ‌های رشته‌ای در نظر گرفته می‌شوند، که با رشته‌هایی از یاخته‌های منشعب نخ‌مانند طولانی مشخص می‌شوند. هر یک از رشته‌های قارچی جداگانه که ریشه^۱ نامیده می‌شوند (شکل ۱۱-۱۶a را مشاهده کنید)، اغلب به شکل توده‌ای به دور هم پیچیده شده و شبیه یک ریسمان بافته به نظر می‌آیند. این توده از ریشه‌ها، میسلیم^۲ نامیده می‌شود. میسلیم قارچ‌ها اغلب به صورت یک رشته سفید و یا رنگی نازک که به داخل گیاهان در حال پوسیدن نفوذ می‌کند قابل مشاهده می‌باشد (شکل ۱۱-۱۷). قارچ‌های رشته‌ای، به وسیله‌ی اسپر یا هاگ تکثیر پیدا می‌کنند. که اغلب بر روی هاگدان‌ها تشکیل می‌شوند و ممکن است ذره‌بینی (مثل کفک‌ها) و یا درشت (ماکروسکپی) باشند (قارچ‌های عالی).



(الف)

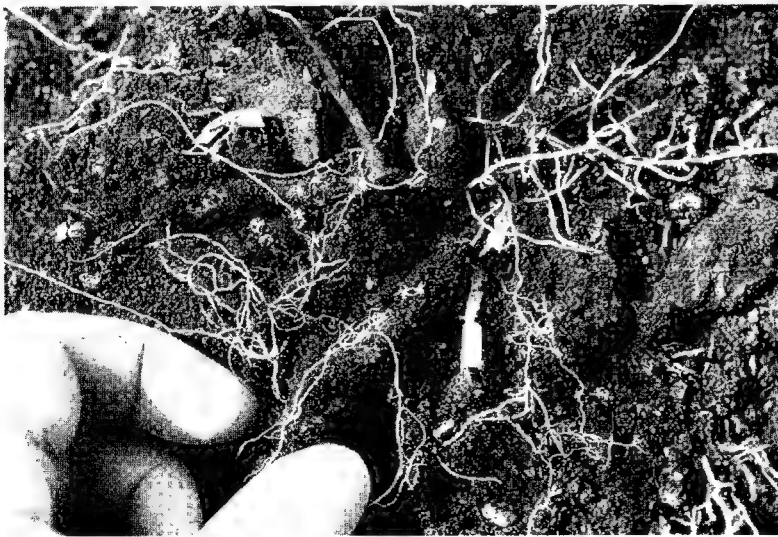


(ب)



(ج)

شکل ۱۱-۱۶ ریزعکس‌های الکترونی ردیابی^۳ قارچ‌ها، باکتری‌ها و اکتینومیست. (الف) ریشه‌ی قارچ‌ها همراه با باکتری‌های میله‌ای شکل بسیار کوچک‌تر (ب) باکتری‌های میله‌ای به ریشه موئین گیاه چسبیده است (ج) نخ‌های اکتینومیست.



شکل ۱۱-۱۷ رشته‌های نازک سفید (نزدیک انگشتان) در این عکس میسلیم قارچی در پس‌مانده‌های گیاهی در حال تجزیه می‌باشد. سایر رشته‌ها (سمت راست در بالای عکس) ریشه گیاهان است.

کفک‌ها

کفک‌ها مشخصاً قارچ‌های نخ‌ی شکل نازک ذره‌بینی و یا نیمه‌ذره‌بینی بوده، در تجزیه‌ی مواد آلی نقش بسیار مهم‌تری از قارچ‌های عالی دارند. کفک‌ها در خاک‌های اسیدی، خشی و یا قلیایی رشدی بسیار دارند. pH پایین به‌جای این‌که زیان‌آور باشد برای برخی از گونه‌ها مطلوب است (شکل ۹-۱۸ را مشاهده کنید) بنابراین آن‌ها در خاک‌های سطحی یا میزان اسیدیته‌ای که باکتری‌ها و اکتینومیست‌ها

^۱ - hypha

^۲ - mycelium

^۳ - Scanning electron micrograph

رقابت متوسطی دارند، در حد وفور یافت می‌شوند، توانایی کفک‌ها در تحمل pH پایین به‌خصوص در تجزیه پسماندهای گیاهی در خاک‌های اسیدی جنگلی، دارای اهمیت است.

بسیاری از جنس‌های کفک‌ها در خاک یافت می‌شوند، چهار گونه‌ی خیلی معمول عبارتند از پنسیلیوم^۱، موکور^۲، فوزاریوم^۳ و اسپرژیلوس^۴. گونه‌هایی از این جنس‌ها در اکثر خاک‌ها یافت می‌شوند. شرایط خاک مشخص می‌کنند که کدام گونه غالب می‌باشد. به‌نظر می‌رسد پیچیدگی ترکیبات آلی که مورد حمله قرار می‌گیرند که تعیین‌کننده حضور کفک‌های خاص می‌باشد. تعداد کفک‌ها با شرایط خاک بسیار در حال نوسان است. شاید ۱۰۰۰۰۰ تا یک میلیون در هر گرم خاک خشک (۱۰ تا ۱۰۰ میلیارد در هر مترمربع) بیانگر مقدار کم و بیش عادی جمعیت کفک‌ها باشد.

قارچ‌های عالی^۵

این قارچ‌ها، در جاهایی که رطوبت و ماده‌ی آلی خاک فراوان است، همراه با جنگل و گیاهان چمنی می‌باشد. گرچه اکثر گونه‌های قارچ‌های عالی برای انسان‌ها سمی است، برخی از آن‌ها خوراکی بوده و بعضی بومی شده‌اند، قارچ‌های خوراکی در غارها و خانه‌های طراحی شده‌ی خاص که مواد آلی کمپوست شده (به‌خصوص پهن‌اسی) منبع غذایی آن‌ها را تشکیل می‌دهد، پرورش می‌یابند. اندام هاگ‌زای هوایی اکثر قارچ‌های عالی بخش کوچکی از کل موجود می‌باشد. شبکه‌ی گسترده‌ای از ریشه‌ها به‌داخل خاک و یا بقایای ماده‌ی آلی نفوذ می‌یابد. در حالی که قارچ‌های عالی به گستردگی کفک‌ها توزیع نیافته‌اند، اما به‌خاطر تجزیه‌ی بافت‌های چوبی و همزیستی بعضی از آن‌ها با ریشه‌ی گیاهان این قارچ‌ها بسیار مهم می‌باشند (به بخش میکوریزا که به‌دنبال می‌آید مراجعه کنید).

فعالیت قارچ‌ها

قارچ‌ها به‌عنوان تجزیه‌کنندگان مواد آلی در خاک‌ها بسیار متنوع بوده و شاید پایداری‌ترین گروه باشند. سلولز، نشاسته، صمغ‌ها، لیگنین و همین‌طور پروتئین‌ها و قندها که حاصل سوخت‌وساز ساده‌اند، در معرض تهاجم آن‌ها می‌باشند. در تأثیر برفرایند هموسی‌شدن (فصل ۹-۱۲) و ثبات خاکدانه‌ها (فصل ۱۱-۴)، قارچ‌ها نقش‌هایی مهم ایفا می‌کنند، قارچ‌ها در لایه‌های فوقانی خاک‌های جنگلی و همین‌طور در خاک‌های خیلی اسیدی شنی معمولاً غالب می‌باشند. آن‌ها همین‌طور که بیشترین سهم را در تجزیه‌ی پسماندها در بسیاری از خاک‌های تحت کشت به عهده دارند.

قارچ‌ها از آن‌جاکه بخش بزرگی از مواد آلی مورد سوخت‌وساز را به بافت‌های خود تبدیل می‌کنند از باکتری‌ها کاراتر می‌باشند. ممکن است حدود ۵۰ درصد از موادی که به‌وسیله‌ی قارچ‌ها تجزیه می‌شوند به بافت قارچ‌ها تبدیل شود، این رقم درباکتری‌ها ۲۰ درصد می‌باشد. حاصل‌خیزی خاک تا حد زیادی وابسته به چرخه‌ی عناصر غذایی به‌وسیله‌ی قارچ‌ها می‌باشد، زیرا پس از توقف فعالیت باکتری‌ها و اکتینومیست‌ها در تجزیه‌ی مواد آلی پیچیده، فعالیت قارچ‌ها شروع می‌شود. شخم آبی خاک از تثبیت ساختمان آن به‌وسیله‌ی ریشه قارچ‌ها سود می‌برد (شکل ۲۸-۴). چرخه پاره‌ای از عناصر غذایی و فعالیت‌های بوم‌شناسی قارچ‌های خاک با ایجاد حلقه‌ی پریان^۶ که به‌طور معمول در چمن‌ها در اول بهار دیده می‌شوند به آسانی قابل مشاهده است (شکل ۱۸-۱۱).

افزون بر تجزیه‌ی پسماندهای گیاهی و ایجاد هموس، سایر فعالیت‌های متعدد قارچ‌ها اثر مهمی بر زیست‌بوم خاک دارند. بعضی قارچ‌ها شکارچی حیوانات خاگری می‌باشند. برای مثال، گونه‌های خاصی حتی نماتدها را به دام می‌اندازند (شکل ۱۹-۱۱ را مشاهده کنید). قارچ‌های خاک می‌توانند ترکیبات آلی پیچیده‌ی متنوع را علاوه بر آن‌ها که همراه هموس خاک هستند، مصنوعاً بازسازی کنند. از یک قارچ خاک جنس پنی‌سیلیوم بود که اولین داروی آنتی‌بیوتیک یعنی پنی‌سیلین به‌دست آمد. این ترکیبات با کشتن باکتری‌ها احتمالاً باعث می‌شوند که قارچ‌ها ریزجاندان رقیب را از پای در می‌آورند.

متأسفانه تمام ترکیبات تولیدشده به‌وسیله‌ی قارچ‌های خاک برای انسان و گیاهان عالی مفید به‌نظر نمی‌رسند. تعداد خیلی کمی از قارچ‌ها مواد شیمیایی سموم قارچی (میکوتوکسین^۷) ایجاد می‌کنند که برای گیاهان و حیوانات (از جمله انسان‌ها) بسیار سمی می‌باشند. یک

^۱ - *Penicillium*

^۲ - *Mucor*

^۳ - *Fusarium*

^۴ - *Aspergillus*

^۵ - *Mushroom fungi*

^۶ - *Fairy ring*

^۷ - *Mycotoxins*

نمونه‌ی مهم تولید افلاتوکسین بسیار سرطان‌زا به‌وسیله‌ی قارچ‌های گونه *Aspergillus flavus* است که روی دانه‌ی ذرت و پادام‌زمینی، به‌خصوص هنگامی‌که این بذور در معرض خاک و رطوبت قرار می‌گیرند رشد می‌کنند. سایر قارچ‌ها ترکیباتی تولید می‌کنند که به آن‌ها امکان می‌دهد بافت‌های گیاهان عالی را به تسخیر خود در آورده و امراض خطرناک گیاهی را مانند پژمردگی (ورتیسلیوم)^۱ و پوسیدگی ریشه (ریزکتونیا)^۲ ایجاد کنند.

از طرف دیگر تلاش‌های در دست انجام است که توان بعضی از قارچ‌ها (مانند بواریا)^۳ را به‌عنوان عوامل مبارزه با بعضی از حشرات و عنکبوت‌ها که سبب بروز خسارت در گیاهان عالی می‌شوند افزایش دهند. این مثال‌ها در واقع به اثرات مجموعه‌ی پیچیده فعالیت‌های قارچ‌ها در خاک اشارت دارد.

قارچ ریشه (میکوریزا)^۴

یکی از مهم‌ترین فعالیت‌های اقتصادی و زیست‌بوم قارچ‌های خاک، سودمندبودن دوجانبه (همزیستی) و همکاری بین قارچ‌های خاص و ریشه گیاهان عالی می‌باشد. این همکاری میکوریزا نامیده می‌شود. واژه‌ای که به‌معنی قارچ ریشه می‌باشد. میکوریزا هنگامی شکل می‌گیرد که قارچ‌های خاص ریشه گیاهان را در فرایندی که به ظاهر بسیار شبیه به آلوده‌شدن به‌وسیله‌ی قارچ‌های بیماری‌زاست به تسخیر در می‌آورند. هرچند در همکاری میکوریزا، قارچ‌ها و گیاهان چنان ظاهراً دچار تحول شده‌اند که هر دو طرف از این ارتباط سود می‌برند. در واقع در یک نظام زیست‌بوم، بسیاری از گیاهان کاملاً وابسته به روابط قارچ ریشه بوده و نمی‌توانند بدون آن زنده بمانند. قارچ ریشه‌ها برای اکثر گونه‌های گیاهی، از جمله گیاهان زراعی، قاعده اصلی بوده و استئنا نمی‌باشد.



شکل ۱۸-۱۱ یک «حلقه‌ی پریان» از رشد قارچ‌ها و اندام‌های گلدهی قارچ‌ها (قارچ‌های عالی در عکس درشت). وقتی قارچ‌های حلقه‌ی پریان (معمولاً گونه‌های *Marasmius spp*) برگ و پس‌مانده‌های متراکم علف‌ها را مورد سوخت‌وساز قرار می‌دهند، سبب آزادشدن نیتروژن اضافی و ایجاد رنگ سبز تند حاکی از رشد چمن می‌باشد. بعدها باکتری‌ها سبب تجزیه‌ی قارچ‌های مسن و مرده شده و سبب تولید دوباره‌ی نیتروژن می‌گردند. این قارچ ماده‌ای شیمیایی ترشح می‌کند (به‌نظر می‌رسد سیانید هیدروژن باشد) که برای خود آن‌ها سمی است. بنابراین هر نسل باید در خاک فاقد قارچ رشد نموده و یک حلقه گسترده‌تر از قارچ‌ها و علف‌های سبز تیره تولید کند. چمن در وسط حلقه اغلب قهوه‌ای، کم‌رشد و تحت تنش آب است، زیرا به احتمال زیاد قارچ‌ها، که بخش‌های فوقانی خاک را تسخیر می‌کنند خاک را تا حدی آب‌گریز می‌باشند.

قارچ ریشه‌ها در اثر همکاری با نباتات و استفاده مستقیم از مواد حاصل از سوخت‌وساز نوری آن‌ها برتری‌های فوق‌العاده زیادی را از نظر تنازع بقا به‌دست می‌آورند. به‌جای رقابت با سایر ناخودپروورهای خاک در تجزیه مواد آلی، قارچ میکوریز قند موردنیاز خود را مستقیماً

^۱ - *Verticillium*

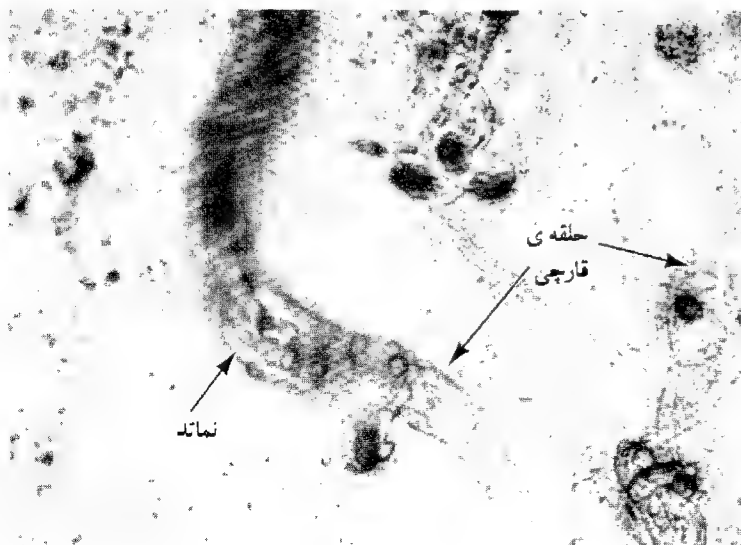
^۲ - *Rhizoctonia*

^۳ - *Beauveria*

^۴ - *Mycorrhizae*

از باختی ریشه گیاهان به‌دست می‌آورند. این خود تحمیل هزینه‌ی انرژی به گیاه بوده که ممکن است ۵ تا ده درصد کل تولید مواد فتوسنتزی گیاه باشد.

در عوض نباتات منافع بسیار پرارزشی از قارچ‌ها به‌دست می‌آورند. ریشه قارچ‌ها ۵ تا ۱۵ سانتی‌متر از ریشه آلوده به بیرون توسعه یافته و به مناطق دورتر و منافذ کوچک‌تری که ریشه مویی خود گیاهان قادر به نفوذ در آن‌ها نیست دسترسی خواهد یافت. این گسترش نظام ریشه سبب افزایش کارایی شده و شاید سطح جذبی را تا ۱۰ برابر شبکه‌ی ریشه گیاه آلوده نشده توسعه دهد. این افزایش همچنین کارایی نظام ریشه را افزایش می‌دهد.



شکل ۱۹-۱۱ گونه‌های متعددی از قارچ‌ها شکارچی نماتدها می‌باشند، به‌خصوص نماتدهای که انگل گیاهان عالی هستند. بعضی از گونه‌های قارچ‌های نماتدکش خود را به نماتد چسباند و آن‌ها را تحلیل برده و هضم می‌کنند. دیگر قارچ‌ها با ریشه خود حلقه‌هایی ایجاد کرده و منتظر نماتدی برای شنا در این دام کمندوار می‌گردند. حلقه تنگ‌تر شده و نماتد به دام می‌افتد. نماتدی که در این عکس نشان داده شده است در یک تفلای بی‌حاصل خود را به هر طرف می‌کوبد تا از چنین دامی فرار کند.

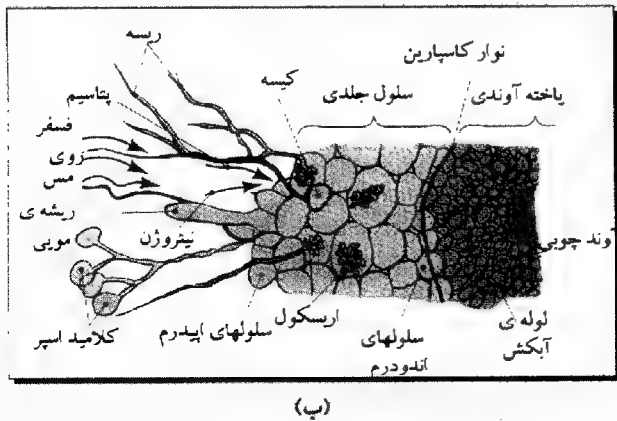
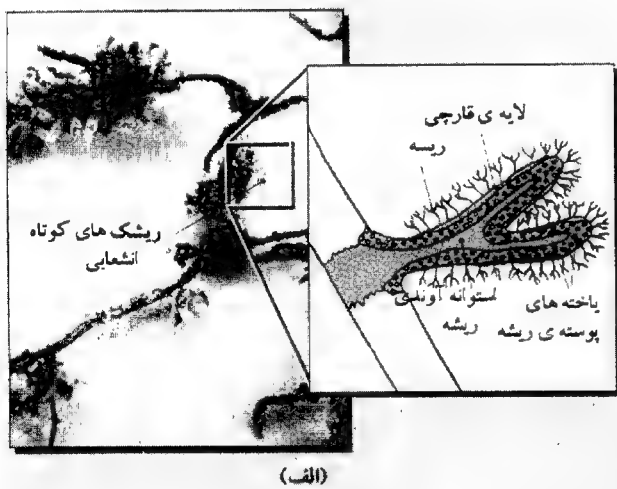
قارچ ریشه توانایی گیاهان را برای جذب فسفر و بعضی مواقع، دیگر عناصر غذایی، که نسبتاً بی‌تحرك بوده و در غلظت‌های اندک در محلول خاک وجود دارند افزایش می‌دهد (جدول ۵-۱۱). در مقابل میکوریز از جذب مقادیر زیاد نمک و فلزات سمی در خاک‌های شور، اسیدی، و یا خاک‌های آلوده ممانعت می‌کند (فصل ۷-۱۸ را مطالعه کنید). جذب آب نیز ممکن است به‌وسیله‌ی قارچ ریشه افزایش یافته و گیاهان در مقابل خشکی بیشتر مقاومت کنند. شواهدی موجود است که قارچ ریشه گیاهان را از امراض مشخص خاکزی با تولید آنتی‌بیوتیک‌ها محافظت می‌کند و سبب تغییر لایه‌ی بیرونی ریشه و رقابت با عوامل بیماری‌زا برای اشغال مناطق آلوده می‌شوند.

جدول ۵-۱۱ اثرات تلقیح با قارچ ریشه و فسفر اضافه‌شده در میزان عناصر مختلف در ساقه‌های ذرت (برحسب میکروگرم در کیلوگرم نبات)

۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم فسفر اضافه شده		بدون اضافه کردن فسفر		عنصر غذایی
با میکوریزا	بدون میکوریزا	با میکوریزا	بدون میکوریزا	
۵۹۱۰	۲۹۷۰	۱۳۴۰	۷۵۰	فسفر
۱۹۹۰۰	۱۷۵۰۰	۹۷۰۰	۶۰۰۰	پتاس
۳۵۰۰	۲۷۰۰	۱۶۰۰	۱۲۰۰	کلسیم
۱۷۵۰	۹۹۰	۶۳۰	۴۳۰	منیزیم
۱۶۹	۴۸	۹۵	۲۸	روی
۳۰	۱۲	۱۴	۷	مس
۲۳۸	۱۵۹	۱۰۱	۷۲	منگنز
۲۷۷	۱۶۱	۱۴۷	۸۰	آهن

قارچ ریشه‌ی خارجی : دو نوع همکاری میکوریزا دارای اهمیت عملی زیادی می‌باشد که عبارتند از میکوریز خارجی^۱ و میکوریز داخلی^۲. گروه قارچ ریشه خارجی شامل صدها گونه قارچ بوده که عمدتاً با درختان مناطق معتدل و یا نیمه‌خشک مانند کاج، غان راش، شوکران و کاج نونل، همزیستی دارند. این قارچ‌ها به‌وسیله‌ی ترشحات ریشه تحریک شده و سطح ریشه‌های تغذیه‌کننده را با یک لایه قارچی پوشش می‌دهند. ریشه‌ی آن‌ها در داخل ریشه‌ها انتشار یافته و در فضای خالی در دور یاخته‌های لایه خارجی ریشه توسعه می‌یابد اما در دیواره یاخته‌های آن نفوذ نمی‌کند. قارچ ریشه‌ی خارجی سبب می‌شود که شبکه‌ی ریشه آلوده عمدتاً از ریشک‌های سفید، ضخیم، کوتاه با شکل Y (شکل ۲۰-۱۱ را مشاهده کنید) تشکیل گردد. این ریشک‌های Y شکل شاخص آلوده‌شدن به‌وسیله‌ی قارچ ریشه می‌باشد، به این دلیل اولین قارچ ریشه‌ای که کشف گردید و مورد مطالعه قرار گرفت قارچ ریشه‌ی خارجی درختان جنگلی بود.

بسیاری از قارچ ریشه‌های خارجی دارای همزیستی انتخابی می‌باشند (آن‌ها هم چنین می‌توانند به‌طور مستقل در خاک زندگی کنند) و بنابراین می‌توانند در مقادیر فراوان در محیط‌های مصنوعی کشت گردند. چنین تلقیح قارچ ریشه‌های خارجی *Pisolithus tinctorius* به‌طور تجاری در خزانه‌های درختان به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است. برای بعضی از گونه‌های درختان رشد رضایت‌بخش و زنده‌مانی آن‌ها در گرو تلقیح مناسب با قارچ ریشه قبل از کشت آن‌ها در خاک‌های فاقد این قارچ‌ها می‌باشد. در خاک‌های غیر حاصل‌خیز در صورت تلقیح با میکوریز خارجی افزایش ماده‌ی تلقیح برای توزیع قارچ ریشه‌ها در جنگل‌های دست‌کاشت در مناطق تخریب‌شده مانند معادن و یا لغزش‌های زمین مورد استفاده قرار می‌گیرد. اسپرهای قارچ ریشه‌های خارجی معمولاً هوازی بوده، بنابراین مناطق کوچک تخریب‌شده معمولاً در طول یک یا دو سال مجدداً به‌وسیله‌ی اسپرهای یادرفت از مناطق دست‌نخورده مجاور تلقیح می‌شوند.



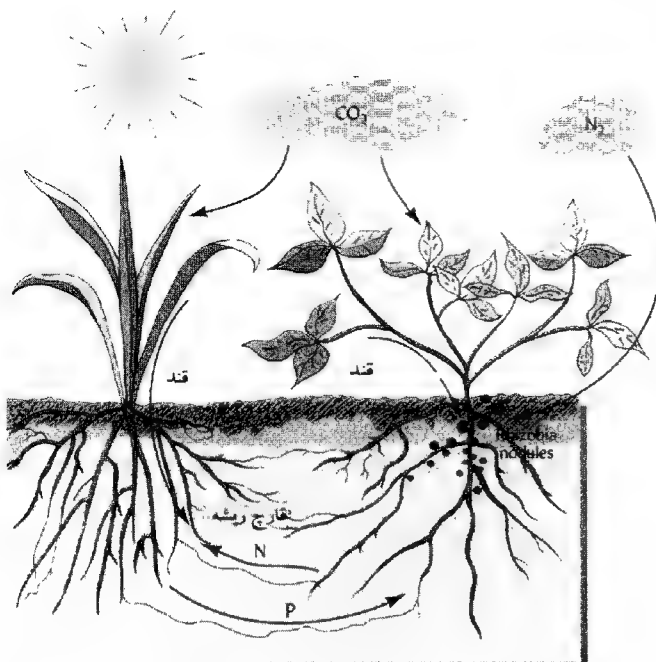
شکل ۲۰-۱۱ شکل قارچ ریشه‌ی خسارچی و قارچ ریشه‌ی داخلی (AM) در ریشه گیاهان. (الف) قارچ ریشه‌ی خسارچی ایجاد ریشک‌های کوتاه منشعب می‌کند که به وسیله‌ی قارچ پوشیده است. ریشه قارچ‌ها به داخل خاک و در بین یاخته‌های گیاه انتشار یافته اما در داخل خود یاخته گیاهان نفوذ نکرده است (ب) برعکس قارچ ریشه‌ی AM نه تنها بین یاخته‌های گیاه انتشار یافته بلکه در داخل یاخته نیز نفوذ کرده است و ساختمان‌هایی به نام اریوسکول و ویزکول تشکیل داده است که اولین عناصر غذایی را به گیاه منتقل می‌کند و دومی این عناصر را در خود ذخیره می‌کند. در هر دو نوع قارچ ریشه گیاه میزبان قند و سایر مواد غذایی را برای قارچ تدارک دیده و در مقابل عناصر غذایی اصلی را که قارچ از خاک جذب می‌کند دریافت می‌دارد.

² - Endomycorrhiza

² - Endomycorrhiza

قارچ ریشه‌ی داخلی: مهم‌ترین اعضا گروه میکوریز داخلی اربوس کولار^۱ میکوریز (AM) نامیده می‌شوند. در تشکیل میکوریز (AM) ریشه قارچ‌ها در واقع به‌داخل دیواره یاخته‌های زیرجلدی نفوذ کرده و در داخل یاخته یک ساختمان منشعب به‌نام اربوس کول تشکیل می‌دهد. این ساختمان منشعب سبب انتقال عناصر معدنی از قارچ به گیاه می‌زبان و انتقال قند از گیاه به قارچ می‌شود. ساختمان دیگر که وزیکول نامیده می‌شود یک عضو ذخیره‌کننده برای قارچ ریشه محسوب می‌شود (شکل ۲۰-۱۱). قارچ ریشه‌ی AM^۲ معمول‌ترین و گسترده‌ترین نوع قارچ ریشه‌ی داخلی می‌باشد. حدود ۱۰۰ گونه از قارچ‌ها این همزیستی میکوریز را در خاک‌ها از مناطق گرمسیری تا مناطق قطبی تشکیل می‌دهند، ریشه اکثر گیاهان زراعی از جمله ذرت، پنبه، گندم، سیب‌زمینی، لوبیا، یونجه، کاساوا و برنج (شرایط دیم) و به‌همین ترتیب اکثر سبزی‌ها و میوه‌ها مانند سیب، انگور و مرکبات تشکیل میکوریز می‌دهند. بسیاری از درختان جنگلی شامل، افرا، تیریزی زرد، چوب‌قرمز و همین‌طور محصولات درختی مانند کاکانو، قهوه و کانوجو نیز قارچ ریشه‌ی AM تشکیل می‌دهند. دو گروه مهم از زراعت‌ها که تشکیل میکوریز نمی‌دهند، خانواده چلیپاییان^۳ (کلم، شلغم، کلم قمری، کسانولا) و خانواده چغندرقدند^۴ (چغندرقدند، چغندر معمولی و اسفناج) می‌باشند.

تحقیق درمورد میکوریز AM برای روشن‌شدن اهمیت زیست‌بوم و عملی این همزیستی ادامه دارد. اهمیت ریشه قارچ ریشه‌ها در ایجاد پایداری در ساختمان خاکدانه‌ها روشن‌تر می‌شود. (شکل ۲۸-۴ را مشاهده کنید). حضور میکوریز برای ایجاد گره^۵ و تثبیت نیتروژن به‌وسیله‌ی خانواده نیام‌داران شناخته شده است. به‌علاوه مشاهده شده است که میکوریز AM عناصر غذایی را از یک نبات به نبات دیگر از طریق اتصال ریشه‌ها انتقال داده است و بعضی مواقع سبب یک رابطه ۴ جانبه همزیستی گردیده است (شکل ۲۱-۱۱ را مشاهده کنید). انتقال عناصر غذایی در بین درختان در بوم‌سامان‌های جنگل، مراتع و چراگاه‌ها دیده شده است، اما محققین هنوز کوشش می‌کنند که میزان و اهمیت بوم‌شناسی این تعامل گیاهان را از طریق میکوریز AM مشخص کنند.



شکل ۲۱-۱۱ قارچ ریشه‌ها، باکتری‌های ریزوبیوم، گیاهان نیام‌دار و گیاهان غیرنیام‌دار می‌توانند دارای تعامل چهار طرفه‌ی مفید باشند. باکتری و قارچ هر دو انرژی و قند خود را از طریق فتوسنتز گیاهان به‌دست می‌آورند. ریزوبیوم گره‌هایی در روی ریشه خانواده نیام‌داران ایجاد کرده و نیتروژن نیوار را در اثر ترشحات آنزیم‌هایی جذب کرده و آن‌را در اختیار گیاه نیام‌دار برای ایجاد اسید آمینه و پروتئین قرار می‌دهد. قارچ ریشه هر دو نبات را آلوده می‌کند و سبب ایجاد ارتباط ریشه‌ای بین آن‌ها می‌شود. سپس قارچ ریشه نه تنها در جذب فسفر از خاک کمک می‌کند، بلکه همچنین می‌تواند عناصر غذایی را مستقیماً از یک گیاه به گیاه دیگر منتقل کند. مطالعات ردیابی پرتوزایی نشان داده است که با این سازوکار نیتروژن در گیاهان نیام‌دار تثبیت‌کننده نیتروژن به غیرنیام‌دار (چمن‌ها) انتقال یافته و فسفر عمدتاً از نباتات غیرنیام‌دار به نبات نیام‌دار انتقال یافته است. چمن غیرنیام‌دار دارای نظام ریشه‌های افشان

و شبکه‌ی گسترده‌ای از قارچ ریشه است که در استخراج فسفر از خاک‌ها بسیار کارا تر از شبکه‌ی ریشه خانواده نیام‌دار می‌باشد. تحقیق نشان داده است که انتقال عناصر غذایی از طریق ارتباط قارچ ریشه در بسیاری از جوامع گیاهی مخلوط، مانند زیراشکوب‌های جنگل، مرتع لگوم و چمن و نظام‌های کشت مخلوط صورت می‌گیرد. میزان تأثیر این پدیده در توان تولید گیاهان هنوز به‌خوبی فهمیده نشده است.

^۱ - Vesicular arbuscular mycorrhizae

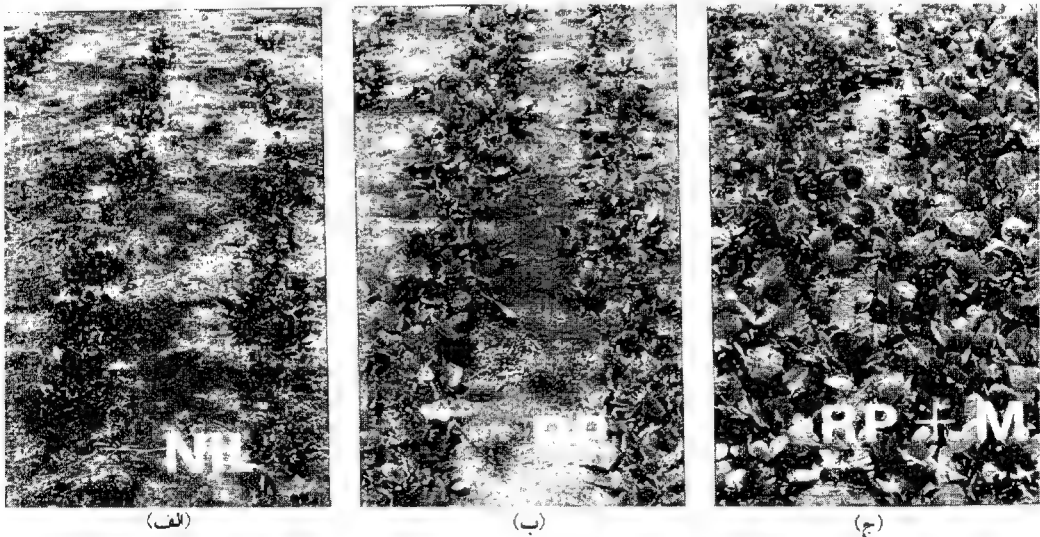
^۲ - فایلامایکوریز نامیده می‌شد حال به‌دلیل عدم تشکیل vesicle در تمام موارد به AM تبدیل شده است.

^۳ - Cruciferae

^۴ - Chenopodiaceae

^۵ - Nodulation

هنگامی که خاک از این عناصر فقیر بوده و میزان کود محدود است نقشی که قارچ ریشه‌ی AM در کمک به گیاهان برای جذب عناصر ایفا می‌کند، از نظر کشاورزی بسیار بااهمیت می‌باشد (شکل ۲۲-۱۱). شواهد بیانگر این امرند که خاک‌ورزی سبب گسیخته‌شدن شبکه ریشه‌ها شده و بنابراین نظام کمینه عملیات خاک‌ورزی^۱ سبب افزایش تأثیر میکوریز AM می‌گردد و همین‌طور ممکن است گیاهان پوششی و تناوب زراعی خاص، برعکس تک‌کشتی و آیش لخت سبب مؤثر بودن میکوریز در خاک‌ها گردند. انبارشدن خاک‌ها در سطح در ضمن فعالیت‌های معدن‌کاوی و ساختمانی (شکل ۱۵-۱ را مشاهده کنید) ممکن است پتانسیل تلقیح قارچ ریشه را به‌خاطر نبود گیاه میزبان برای مدت طولانی از دست دهد. وقتی این خاک‌های انبار شده قبل از استفاده با خاک حاوی قارچ ریشه تلقیح نشوند، پوشش گیاهی آن‌ها فقیر خواهد بود. این مثال‌ها اهمیت تداوم گیاهان میزبان AM را برای مؤثر بودن همزیستی روشن می‌سازد. مطالعات در سواحل غربی ایالات متحده و کانادا نشان داده است که رشد مجدد نراد دگلاس با انجام عملیات کف‌بر کردن و از بین بردن نهال‌های سخت‌چوب به عنوان گیاهان هرز محدود گردیده است. در بعضی مناطق بدون وجود درختان سخت‌چوب زنده‌مانی نراد دگلاس درمقایسه با مناطقی که در آن‌ها درختان سخت‌چوب به عنوان میزبان AM باقی مانده‌اند، یا به مخاطره افتاده است و یا بسیار کند شده است. گرچه اختلافات مشخصی در کارایی میکوریز در بین گونه‌ها و نژادهای قارچ ریشه‌های AM وجود دارد، توزیع یکنواخت و گسترده نژادهای بومی سبب تضمین آلوده‌شدن طبیعی گیاهان در اکثر مواقع می‌شود. بنابراین حاصل تلقیح با قارچ‌های بسیار کارای میکوریز معمولاً اندک است. گرچه استثنا وقتی پیش می‌آید که جمعیت بومی قارچ‌ها به‌خاطر پخش بخارات سمی و یا سایر دست‌کاری‌های خاک مانند معدن‌کاوی یا کف‌بری جنگل خیلی پایین باشد. کاربرد عملی فناوری میکوریز به‌خاطر مشکلات موجود کشت این همزیست‌های اجباری در شرایط مصنوعی محدود گردیده است. فرایندی که امکان تولید مقادیر زیاد مواد تلقیحی عاری از بیماری را امکان‌پذیر می‌سازد.



شکل ۲۲-۱۱ اثر قارچ ریشه بر روی قابلیت استفاده فسفر در یک مرتع نیام‌دار *Pueraria phaseoloides*: (الف) شاهد بدون هر نوع تیمار، (ب) مصرف سنگ فسفات، (ج) سنگ فسفات به‌اضافه میکوریز.

۱۰-۱۱ اکتینومیسست‌های خاک

همانند قارچ‌ها، اکتینومیسست‌ها رشته‌ای شکل بوده و دارای انشعابات فراوانی می‌باشند (شکل ۶-۱۱ ج)، هرچند نخ‌های سیلیوم آن‌ها بسیار کوچک‌تر از قارچ‌ها است (شکل ۱۶-۱۱ ج). اکتینومیسست‌ها از آن نظر شبیه باکتری‌ها می‌باشند که تک‌یاخته‌ای بوده و دارای همان قطر باکتری‌ها بوده و به هاگ‌هایی تقسیم می‌شوند که بسیار شبیه باکتری‌ها می‌باشند. هرچند اکتینومیسست‌ها از نظر تاریخی با قارچ‌ها طبقه‌بندی شده‌اند از آن نظر که فاقد غشاء می‌باشند شبیه باکتری‌ها هستند (هر دو دارای یاخته‌های پروکاریوتیک^۲ می‌باشند). حال همراه باکتری‌ها به‌طور معمول در جامعه مونرا^۳ طبقه‌بندی می‌شوند.

^۱ - Minimum Tillage

^۲ - Prokaryotic

^۳ - Monera

اکتیوئیست‌ها معمولاً هوازی ناخودپرور بوده که بر روی مواد در حال فساد در خاک و یا بر روی ترکیباتی که به‌وسیله گیاهان تأمین گردیده و گونه‌های خاصی با آنها روابط انگلی و یا همزیستی دارند زندگی می‌کنند. بسیاری از گونه‌های اکتیوئیست ترکیبات آنتی‌بیوتیک تولید می‌کنند که سایر ریزجانداران را از بین می‌برند. اکتیوئیسمین، نئومیسین، و استرپتومایسین نمونه‌های از داروهای مشهور آنتی‌بیوتیک هستند که با پرورش اکتیوئیست‌های خاک در محیط کشت تولید می‌شوند. در بوم‌سامان جنگل بیشتر تأمین نیتروژن وابسته به اکتیوئیست‌های خاصی است که قادرند گاز N_2 نیوار را به‌صورت نیتروژن آمونیاکی تثبیت کنند که برای گیاهان عالی قابل‌استفاده می‌باشد (فصل ۱۲-۱۳ را مشاهده کنید).

اکتیوئیست‌ها در خاک‌های مرطوب، گرم، دارای تهویه مناسب، بهترین رشد را دارند. اما در مواقع خشکی آن‌ها فعال باقی می‌مانند که نه باکتری‌ها و نه کفک‌ها این خصوصیت را نشان می‌دهند. اکتیوئیست‌ها در برابر پتانسیل اسمزی کم پایدار بوده و از این‌رو در مناطق خشک و زمین‌های شور از اهمیتی چشم‌گیر برخوردارند. آن‌ها معمولاً به شرایط اسیدی خاک‌ها تا حدی حساس می‌باشند. رشد بهینه آن‌ها در مقادیر pH بین ۶-۷/۵ صورت می‌گیرد. بعضی از گونه‌های اکتیوئیست‌ها می‌توانند دمای نسبتاً بالا را تحمل کنند.

تعداد و فعالیت‌های اکتیوئیست : تعداد اکتیوئیست‌ها در خاک از تمام موجودات دیگر به‌استثنای باکتری‌ها زیادتر است (جدول ۱۱-۲ را مشاهده کنید). زیتوده آن‌ها تا ۵۰۰۰ کیلوگرم در هکتار در بعضی از خاک‌های سطحی می‌رسد. این جانداران به‌خصوص در خاک‌های حاوی هموس، مانند چمن‌زارهای قدیمی و مراتع، که اسیدیته خیلی زیاد نیست فراوان می‌باشند. رایحه‌ی زمین‌های غنی از مواد آلی و اراضی تازه شخم‌خورده عمدتاً به‌خاطر تولیدات اکتیوئیست‌ها است که ژوسیمنز^۱ نامیده می‌شود که ترکیبات فرار ترپن^۲ می‌باشد. اکتیوئیست‌ها بدون شک در تجزیه‌ی مواد آلی خاک، و آزادسازی عناصر آن دارای اهمیت زیادی می‌باشند. ضاهراً آن‌ها ترکیبات مقاوم مانند سلولز، کتین، و فسفولپیدها را به اشکال ساده‌تر تجزیه می‌کنند. این موجودات در آخرین مراحل تجزیه، وقتی محصولات فرعی دارای سهولت سوخت‌وساز مصرف شده‌اند، در خاک غالب می‌شوند و فوراً اکتیوئیست‌ها در خاک‌هایی که سال‌ها زیر کشت چمن بوده‌اند، نشانه‌ی سازگاری آن‌ها در تجزیه‌ی ترکیبات پیچیده می‌باشد. آن‌ها همچنین در مراحل نهایی کمپوست‌کردن (عمل‌آوری) بسیار مهم می‌باشند (فصل ۵-۱۲ را مشاهده کنید).

۱۱-۱۱ باکتری‌های خاک

خصوصیات: باکتری‌ها موجودات بسیار کوچک تک‌یاخته‌ای پروکاریوتیک^۳ (بدون هسته حقیقی) بوده و از نظر اندازه از ۰/۵ تا ۵ میکرون متغیر می‌باشند، که کوچک‌ترین آن‌ها هم‌اندازه ذره‌ی رس متوسط است (شکل ۱۰-۱۱ را مشاهده کنید). باکتری‌ها در شکل‌های مختلف مانند گرد، (کوکوس^۴)، میله مانند (باسیلیوس^۵) و یا مارپیچی (اسپرلیوم^۶) یافت می‌شوند. به‌نظر می‌رسد انواع میله‌ای شکل در خاک که غالب باشند (شکل ۱۴-۱۱). بسیاری از باکتری‌ها دارای حرکت (جنش) بوده و در آب خاک به‌وسیله‌ی مژه و یا میله‌های مو مانند به هر طرف شنا می‌کنند.

باکتری‌ها احتمالاً متنوع‌ترین موجودات خاک می‌باشند، یک گرم خاک حاوی ۲۰۰۰۰ گونه‌ی مختلف است. سازوکارهایی آن‌ها چنان تحول یافته است که با سخت‌ترین محیط‌ها از قطب تا آمازون، از اراضی ماندابی غیرهوازی تا کفه‌های خشک نمکی، از لاشیرگ جنگلی تا آبهای عمیق زیرزمینی، از خاک‌های سدیمی با pH ۱۰ تا خاک‌های سولفاته اسیدی با pH ۲ توانسته‌اند حیات خود را تطابق دهند. جمعیت باکتری‌ها در خاک: همانند سایر موجودات خاک، تعداد باکتری‌ها فوق‌العاده متغیر، اما بالاست و از چندمیلیارد تا ۱۰۰۰ میلیارد در هر گرم خاک متغیر است. زیتوده‌ای در حدود ۴۰۰ تا ۵۰۰۰ کیلوگرم در هکتار برحسب وزن زنده‌ی آن‌ها در لایه شخم یک خاک حاصل‌خیز یافت می‌شود (جدول ۱۱-۲ را مشاهده کنید).

توانایی آن‌ها برای ایجاد اشکال مقاوم در حالت رکود، که می‌تواند در انتقال به‌وسیله باد، رسوب، جریان اقیانوس و اندام‌های گوارش حیوانات زنده باقی بمانند به آن‌ها امکان داده است که تقریباً در تمام خاک‌ها توزیع و گسترش یابند. توان تولید بسیار سریع (زمان

1 - Geosmins

2 - terpene

3 - Prokaryotic

4 - Coccus

5 - Bacillus

6 - Spirillum

ایجاد یک نسل فقط چند ساعت)، باکتری‌ها را قادر ساخته که جمعیت خود را در شرایط مساعد خاک، و وجود غذا، به سرعت تکثیر نمایند. همان‌طور که بجرینیک اولین میکروب‌شناس خاک در مورد باکتری‌ها گفته است (هر چیزی در هر کجا یافت می‌شود). تغییر در محیط خاک، اضافه کردن یک ماده‌ی غذایی در خاک به یک گونه جدید می‌انجامد. حتی در ضایعات صنعتی به‌زودی می‌توان جمعیت جدیدی از باکتری‌ها را مشاهده نمود.

منبع انرژی : باکتری‌های خاک، خودپرور و یا ناخودپرور می‌باشند (فصل ۳-۱۱ را مشاهده کنید). باکتری‌های خودپرور انرژی خود را از نور آفتاب (خودپرور نوری) و یا اکسایش مواد معدنی مانند آمونیوم، گوگرد و آهن (شیمی خودپرور) و بیشتر کربن خود را از اکسید کربن و یا کربنات‌های محلول به‌دست می‌آورند. باکتری‌های خودپرور چندان متعدد نیستند، اما آن‌ها در قابلیت استفاده عناصر برای گیاهان عالی نقش حیاتی ایفا می‌کنند.

بیشتر باکتری‌های خاک ناخودپرور بوده هم انرژی و هم کربن مورد نیاز خود را مستقیماً از ماده‌ی آلی به‌دست می‌آورند. باکتری‌های ناخودپرور همراه با قارچ‌ها و اکتینومیست‌ها در تجزیه کلی مواد آلی در خاک‌ها عامل اصلی به حساب می‌آیند. باکتری‌ها اغلب، بر روی مواد با تجزیه‌ی آسان مانند کود دامی، نشاسته و پروتئین غالب می‌باشند. وقتی مقدار اکسیژن کاهش می‌یابد، مانند اراضی مرطوب، تقریباً تمام تجزیه‌ی مواد آلی به‌وسیله‌ی باکتری‌ها انجام می‌گیرد. محصولات گازی حاصل از این باکتری‌های غیرهوازی مانند متان، و اکسیدهای نیتريت، اثرات مهمی بر محیط زیست کروی زمین خواهند داشت (فصول ۱۱-۱۲ و ۹-۱۳ را مشاهده کنید).

اهمیت باکتری‌ها : باکتری‌ها به‌عنوان یک گروه در واقع در تمام تبدیلات آلی که یک نظام سالم خاک را مشخص می‌کند، توانمندانه شرکت دارند. از آن‌جاکه باکتری‌ها به‌عنوان یک گروه دارای چنین توانایی‌های گسترده آنزیمی می‌باشند، دانشمندان اکنون در فکر پیدا کردن راه‌هایی برای مهار کردن، و حتی توسعه‌ی فعالیت‌های سوخت‌وساز باکتری‌ها برای پاک کردن خاک‌های آلوده از نفت خام، حشره‌کش‌ها و سایر مواد سمی آلی می‌باشند (فصل ۶-۱۸ را مشاهده کنید). باکتری‌ها معمولاً مهم‌ترین گروه در تجزیه‌ی ترکیبات هیدروکربن، مانند بنزین و گازوئیل می‌باشند.

به‌علاوه باکتری‌ها در چندین تغییر شکل اساسی آنزیمی، تقریباً منحصر به فرد می‌باشند. یکی از این فرایندها اکسایش و یا احیای عناصر شیمیایی خاص در خاک‌ها است (فصل ۴-۷ و ۶-۷ را مشاهده کنید). باکتری‌های خودپرور خاص انرژی خود را از چنین اکسایش‌های معدنی به‌دست می‌آورند، در حالی که باکتری‌های غیرهوازی و انتخابی (هوازی و غیرهوازی) تعدادی از مواد را به غیراز اکسیژن احیاء می‌کنند. بسیاری از این اکسایش‌ها و احیای زیست‌شیمی اثرات عمده‌ای بر کیفیت محیط زیست، و همین‌طور تغذیه نباتات، دارند. برای مثال در طی فرایند اکسایش نیتروژن (نیتریفیکاسیون) باکتری‌های انتخابی نیتروژن آمونیاکی تقریباً پایدار را در طی فرایند اکسایش به نیتروژن بسیار پویای نیتراتی تبدیل می‌کنند. به‌همین ترتیب، سایر باکتری‌ها مسوول تجزیه‌ی گوگرد بوده که ین سولفات قابلیت استفاده را برای گیاهان به‌دست می‌آورند، هرچند اسید سولفوریک خسارت‌زا را نیز ممکن است تولید کنند (فصل ۲۱-۱۳ را مشاهده کنید). به‌علاوه اکسایش و احیای ین‌های معدنی مانند آهن و منگنز نه‌تنها در قابلیت استفاده این ین‌ها تأثیر می‌گذارد (فصل ۵-۱۵ را مشاهده کنید)، بلکه در تعیین رنگ خاک نیز مؤثر می‌باشد (فصل ۱-۴ را مشاهده کنید).

دومین فرایند مهم که در آن باکتری‌ها غالب می‌باشند. تثبیت نیتروژن است که عبارت از ترکیب زیست‌شیمی نیتروژن نیوار با هیدروژن برای تشکیل ترکیبات آلی نیتروژن‌دار قابل استفاده گیاهان عالی می‌باشد (فصل ۱۰-۱۳ را مشاهده کنید). این فرایند می‌تواند در خاک‌ها مستقل از گیاهان صورت گیرد، اما در صورت همکاری باکتری‌ها با ریشه گیاهان میزان تثبیت نیتروژن به‌مراتب بیشتر خواهد شد، زیرا گیاهان قند، یا سوخت مورد نیاز این فرایند پرنیاز به انرژی را تأمین می‌کنند.

سیانوباکتری‌ها^۱: این باکتری‌ها دارای سبزینه بوده و به آن‌ها اجازه می‌دهد که همانند گیاهان عالی سوخت‌وساز نوری انجام دهند. این باکتری‌ها که قبلاً جلبک‌های آبی - سبز نامیده می‌شدند به‌ویژه در برنج‌زارها و سایر خاک‌های مرطوب بسیار متعدد می‌باشند. وقتی این اراضی غرقاب می‌شوند مقادیر زیادی از نیتروژن نیوار به‌وسیله‌ی این موجودات تثبیت می‌شود. سیانوباکتری‌های خاص، که در برگ‌های سرخس آبی به اسم آزولا^۲ زندگی می‌کنند قادرند نیتروژن را در مقادیر چنان زیاد تثبیت کنند که از نظر تولید برنج دارای اهمیت عملی باشد (فصل ۱۲-۱۳ را مشاهده کنید). این موجودات قادرند تحمل قابل ملاحظه‌ای از خود در محیط‌های شور بروز دهند.

^۱ - Cyanobacteria

^۲ - Azola

۱۱-۱۲ شرایطی که در رشد ریزجانداران خاک مؤثر می‌باشند

نیازهای ماده‌ی آلی: پس‌مانده‌های گیاهی و ماده‌ی آلی خاک به‌عنوان منبع انرژی به‌وسیله‌ی اکثریت ریزجانداران ناخودپرور و اما نه خودپرورها مورد استفاده قرار می‌گیرند. افزودن تقریباً هر ماده‌ی آلی غنی از انرژی از جمله مواد ترشح‌شده به‌وسیله‌ی ریشه‌ی گیاهان، سبب تحریک رشد فعالیت میکروبی می‌شود. باکتری‌ها و قارچ‌های به‌خصوص به‌وسیله‌ی اسید آمینه‌های خاص و یا سایر عوامل رشد که در ریزوسفر یافت شده، و یا به‌وسیله‌ی بقیه‌ی ریزجانداران تولید می‌شوند، تحت تأثیر و تحریک قرار می‌گیرند.

باکتری‌ها به‌سرعت در برابر اضافه‌شدن ترکیبات ساده مانند نشاسته و قند واکنش نشان می‌دهند، در صورتی که قارچ‌ها و اکتینومیسیت‌ها در صورت وجود سلولز ترکیباتی با مقاومت بیشتر در مواد آلی مصرف‌شده فعالیت باکتری‌ها را کم‌رنگ خواهند کرد. همچنین، اگر مواد آلی در سطح خاک باقی بمانند (همانند لاشیرگ سوزنی‌برگ‌ها)، قارچ‌ها در فعالیت میکروبی غالب خواهند بود. باکتری‌ها در صورت مخلوط شدن مواد آلی با خاک، مثلاً به‌وسیله‌ی کرم‌های خاکی، و یا انتشار ریشه و یا خاک‌ورزی نقش بیشتری ایفا می‌کنند.

نیازهای اکسیژن: اکثر باکتری‌ها هوازی بوده و از گاز O_2 به‌عنوان دریافت‌کننده‌های الکترون در سوخت‌وساز خود استفاده می‌کنند. بعضی از باکتری‌های دیگر غیرهوازی بوده و مواد دیگری غیر از اکسیژن را به‌کار می‌برند (مثلاً NO_3 ، SO_4 و سایر دریافت‌کننده‌های الکترون). باکتری‌های انتخابی هر دو شکل فوق را در سوخت‌وساز خود به‌کار می‌برند. هر سه نوع سوخت‌وساز فوق‌الذکر همزمان با همدیگر در سکونت‌گاه‌های مختلف در داخل خاک به انجام می‌رسند.

رطوبت و دما: میزان رطوبت بهینه برای گیاهان عالی (پتانسیل رطوبتی ۷۰- تا ۱۰- کیلوپاسکال) معمولاً برای اکثر میکروب‌های هوازی نیز بهترین است. میزان رطوبت زیاد خاک سبب محدودیت تأمین اکسیژن می‌شود. فعالیت میکروبی وقتی دما در فاصله‌ی ۴۰-۲۰ درجه سانتی‌گراد باشد معمولاً در بیشترین اندازه است. بخش گرم‌تر در این فاصله برای اکتینومیسیت‌ها مناسب می‌باشد. دمای انتهایی این دامنه به‌ندرت سبب کشته‌شدن باکتری‌ها می‌گردد. و اما به‌طور موقت سبب کاهش فعالیت آن‌ها می‌شود، هر چند به‌استثنای چند گونه‌ی سرما‌دوست^۱، فعالیت سوخت‌وساز اکثر باکتری‌ها در پایین‌تر از ۵ درجه سانتی‌گراد متوقف می‌شود، دمایی که بعضی مواقع به آن صفر صبی گفته می‌شود (فصل ۹-۷ را مشاهده کنید).

کلسیم قابل تبادل و pH: میزان کلسیم قابل تبادل و pH مشخص می‌کند که کدام ریزجاندار در یک خاک موفق می‌باشد. هر چند در هر شرایط شیمیایی که در خاک یافت می‌شود بعضی از گونه‌های باکتری‌ها موفق می‌باشند. کلسیم زیاد و pH نزدیک خشی معمولاً بیشترین و متنوع‌ترین جمعیت باکتریایی را سبب می‌شود. pH پایین سبب غلبه‌ی قارچ‌ها می‌گردد. تأثیر pH و کلسیم دلیل غلبه‌ی قارچ‌ها را در خاک‌های جنگلی تشریح می‌کند. زیئوده‌ی باکتریایی معمولاً از زیئوده‌ی قارچی در اکثر خاک‌های مراع و مَرغزارهای نیمه‌مرطوب تا نیمه‌خشک بیشتر می‌باشد.

۱۱-۱۳ اثرات مفید موجودات خاک

اهمیت جانوران و گیاهان خاک در رابطه با تأثیر آن‌ها بر توان تولید محصولات و نقش زیست‌بوم خاک گریزناپذیر است. از اثرات مهم سودمند و بسیار آن‌ها، فقط مهم‌ترین در این‌جا مورد تأکید قرار می‌گیرند.

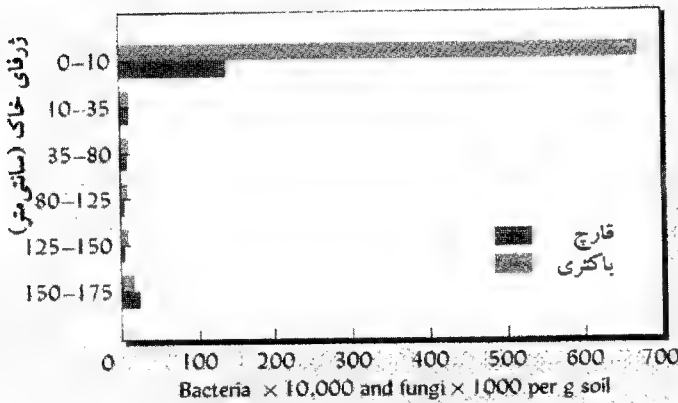
تجزیه‌ی مواد آلی: شاید بااهمیت‌ترین کمک ریزجانوران و ریزگیاهان خاک به گیاهان عالی همانا تجزیه‌ی ماده‌ی آلی باشد. طی این فرایند، پس‌مانده‌های گیاهی تجزیه شده و عناصر غذایی نگهداری شده در شکل آلی به گونه‌های معدنی برای استفاده گیاهان آزاد می‌شوند. آزادشدن نیتروژن یک نمونه برجسته است. ریزجانداران خاک همچنین سبب هضم فضولات حیوانات (از جمله فضولات انسانی) و سایر مواد آلی اضافه‌شده به خاک می‌گردند. یکی از محصولات فرعی سوخت‌وساز آن‌ها بازسازی ترکیبات جدیدی می‌باشد که بعضی از آن‌ها سبب پایداری ساختمان خاک و بقیه در تشکیل هموس مؤثر می‌باشند.

تجزیه‌ی ترکیبات سمی: بسیاری از ترکیبات سمی برای گیاهان و یا حیوانات نهایتاً راه خود را در خاک پیدا خواهند کرد. بعضی از این مواد سمی به‌وسیله‌ی موجودات خاک به‌عنوان مواد فرعی حاصل از سوخت‌وساز آن‌ها تولید می‌شوند. بعضی دیگر به‌وسیله‌ی انسان

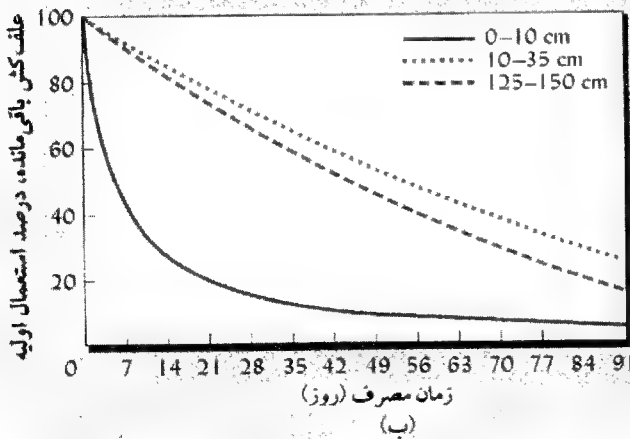
^۱ - Cryophillic

به‌عنوان مواد شیمیایی کشاورزی^۱ برای از بین بردن آفت‌ها عمدتاً به‌کار می‌روند و بعضی دیگر به‌دنبال آلودگی محیطی غیر عمدی در خاک ته‌نشین می‌شوند. اگر این ترکیبات بدون تغییر در خاک تراکم یابند، سبب خسارات متعددی به زیست‌بوم خواهند شد. خوشبختانه اکثر سم‌های تولیدشده زیستی به‌مدت طولانی در خاک باقی نمی‌مانند، زیرا بوم‌سامان دارای موجوداتی است که نه‌تنها از این ترکیبات صدمه نمی‌بینند، بلکه می‌توانند آن‌زیم‌هایی تولید کنند که از این سم‌ها به‌عنوان غذا استفاده کنند.

بعضی از سموم ترکیبات، مصنوعی (زنویوتیک)^۲ بوده که در نظام زیستی خاک بیگانه می‌باشند، و ممکن است در مقابل اثر آن‌زیم‌های معمولی موجود در خاک مقاومت کنند. باکتری‌ها و قارچ‌های خاک مخصوصاً از نظر حفظ محیط غیرسمی در خاک مهم می‌باشند (فصل ۱۸-۶ را مشاهده کنید). فعالیت رفع سمیت این ریزجانداران در لایه‌های سطحی خاک، که جمعیت باکتری‌ها به‌خاطر وجود مواد آلی و اکسیژن فراوان تمرکز یافته است، در بالاترین میزان خود می‌باشد (شکل ۲۳-۱۱).



شکل ۲۳-۱۱ (الف) جمعیت باکتری‌های هوازی و قارچ‌ها در اعماق مختلف در سری خاک‌دندی^۳ (اکوالف). (ب) تجزیه‌ی علف‌کش متریبوزین^۴ در همان خاک در اعماق مختلف. نمونه‌ی خاک از هر عمق برداشته شد و با علف‌کش مخلوط گردید. توجه داشته باشید که قارچ‌ها و باکتری‌ها در لایه‌ی ۱۰ سانتی‌متری فوقانی تمرکز یافته و تجزیه‌ی علف‌کش‌ها در این خاک به‌مراتب سریع‌تر از لایه‌های عمیق‌تر بود.



تغییر شکل‌های معدنی

تغییر شکل ترکیبات معدنی در بین نقش‌های نظام خاک، از جمله رشد نبات دارای بالاترین اهمیت می‌باشد. حضور یون‌های نیترات‌ها، سولفات‌ها و به‌میزانی کمتر فسفات‌ها، عمدتاً به‌خاطر فعالیت ریزجانداران است. اشکال نیتروژن، گوگرد و فسفر در پیوند آلی به‌وسیله‌ی میکروب‌ها به اشکال قابل‌استفاده گیاهان تبدیل می‌شوند.

به‌همین ترتیب قابلیت استفاده سایر عناصر اساسی مانند آهن و منگنز عمدتاً بر اثر فعالیت میکروبی مشخص می‌شود. در خاک‌ها با زه‌کشی خوب، این عناصر به‌وسیله‌ی موجودات خودپرور اکسیده شده و به ظرفیت بالای خود خواهند رسید، که در آن اشکال، حلالیت

^۱ - Agrochemicals

^۲ - Xenobiotic

^۳ - Dundee Aqualls

^۴ - Metribuzin

آن‌ها کاملاً پایین خواهد بود. این تغییر شکل بخش بیشتر آهن و منگنز را در اشکال غیر محلول و غیر سمی، حتی در شرایط اسیدی نگهداری خواهد کرد. اگر چنین اکسایشی صورت نگیرد، رشد گیاهی به‌خاطر مقادیر سمی این عناصر در محلول به‌مخاطره خواهد افتاد. اکسایش میکروبی همچنین توان سمیت در خاک‌های آلوده شده با سلیوم و کرم را تنظیم خواهد کرد (فصل ۱۰-۱۸ را مشاهده کنید).

تثبیت نیتروژن: تثبیت گاز نیتروژن عنصری (که نمی‌تواند مستقیماً به‌وسیله گیاهان عالی مورد استفاده قرار گیرد) به‌ترکیباتی که قابل استفاده گیاهان است یکی از مهم‌ترین فرایندهای میکروبی در خاک است. درحالی‌که جنس فرانکیا در اکتینومیسیت‌ها بخش عمده‌ای از نیتروژن را در بوم‌سامان جنگل تثبیت می‌کند و سیانوباکتری‌ها در برنج‌زارهای غرقابی مهم می‌باشند، باکتری‌های ریزوبیوم مهم‌ترین گروه برای اخذ نیتروژن گازی در خاک‌های زراعی به‌شمار می‌روند. به‌علاوه بیشترین مقدار تثبیت نیتروژن به‌وسیله این موجودات در گره‌های ریشه و یا در سایر اشکال همکاری با نبات صورت می‌گیرد. در مقیاس جهانی، مقادیر عظیمی نیتروژن هر سال در اشکالی که قابل استفاده برای گیاهان عالی است تثبیت می‌شوند (بخش ۱۰-۱۳ را مشاهده کنید).

حفظ نباتات: بعضی از موجودات مشخص خاک به گیاهان عالی حمله کرده، اما بقیه سبب حفظ ریشه از آلوده‌شدن بوسیله انگل‌ها و بیماری‌های خاک می‌شوند (بخش بعد را مطالعه کنید).

۱۱-۱۴ موجودات خاک و زیان به گیاهان عالی

هرچند اکثر فعالیت‌های موجودات خاک برای ایجاد یک بوم‌سامان سالم و تولید اقتصادی محصولات حیاتی است، بعضی از موجودات خاک چنان با روش‌های مملکی بر گیاهان اثرگذارند که نمی‌توان آن‌ها را نادیده گرفت.

جانوران خاک^۱: همان‌طور که قبلاً بیان گردید بعضی از جانوران خاص خاک برای گیاهان عالی زیان‌بار هستند، برای مثال بعضی از جوندگان و موش‌کور ممکن است سبب ایجاد خسارت شدید در محصولات گردند. حلزون‌ها و راب‌ها در بعضی اقلیم آفت‌های هولناکی. به‌خصوص برای سبزی‌ها می‌باشند. مورچگان ممکن است بعضی از شته‌ها را بروی نباتات خاص انتقال دهند و سبب ایجاد خسارت گردند به‌علاوه، ریشه بیشتر گیاهان به‌وسیله نماتدها آلوده می‌شوند، در بعضی مواقع آلودگی چنان شدید است که رشد موفقیت‌آمیز محصولات خاص هم مشکل و هم پرهزینه خواهد بود.

ریزگیاهان و امراض گیاهی: در بین ریزجانداران، ریزگیاهان معمولاً شدیدترین خسارت را به گیاهان عالی وارد می‌کنند گرچه باکتری‌ها و اکتینومیسیت‌ها سهمی در امراض گیاهی دارند. قارچ‌ها مسوول اکثر امراض معمول ناشی از خاک می‌باشند که از جمله شامل پژمردگی^۲، بوته‌میری^۳، پوسیدگی ریشه^۴، ریشه‌گزری^۵ کلم و زراعت‌های مشابه و سفیدشدن و پریدگی^۶ رنگ در سبب‌زمینی می‌باشد.

خاک‌ها به آسانی در معرض عوامل بیماری‌زا در اثر انتقال خاک به خاک به‌وسیله ادوات کشاورزی و نشاء گیاهان، و حتی کود دامی حیواناتی که گیاهان آلوده را خورده‌اند قرار می‌گیرند. همچنین فرسایش خاک، هاگ‌ها و باکتری‌های بادآورده می‌توانند امراض را از یک مزرعه به مزرعه دیگر منتقل کنند. وقتی خاک به بیماری مبتلا یافت ممکن است برای مدت زیادی آلوده باقی بماند.

کنترل امراض به‌وسیله مدیریت خاک

پیشگیری، بهترین دفاع در مقابل امراض ناشی از خاک است. نظام‌های شدید قرنطینه از انتقال عوامل بیماری‌زای ناشی از خاک یک مزرعه به مزرعه دیگر جلوگیری می‌کند. حذف گیاه میزبان از مزرعه‌ی آلوده در مواردی که گیاه میزبان دیگری وجود نداشته باشد به مهار مرض کمک می‌کند. در بعضی موارد تناوب زراعی و عملیات خاک‌ورزی برای مهار یک مرض با کشت گیاهان غیرحساس به‌مدت چندین سال در بین نباتات حساس، و یا مدفون ساختن پس‌ماندهای گیاهی که هاگ قارچ‌ها نتوانند در آن‌ها زمستان‌گذرانی داشته باشند، می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. خاک‌پوش‌ها می‌توانند با جلوگیری از پاشمان خاک به‌داخل پوشش برگی در طول رگبارش‌ها از انتقال بیماری‌های ناشی از خاک جلوگیری کنند.

¹ - Soil fauna

² - Wilting

³ - Damping off

⁴ - Root rot

⁵ - Club root

⁶ - Blight

pH خاک: تنظیم pH خاک در مهار بعضی از امراض مؤثر می‌باشد. برای نمونه پایین نگهداشتن pH (< 5.5) می‌تواند گال سیب‌زمینی^۱ حاصل از فعالیت اکتینومیست‌ها (شکل ۲۴-۱۱) و مرض قارچی چمن‌ها را که تحت عنوان مرگ بهاره^۲ مشهور است مهار کند. در صورتی که بالاترین pH به $7/2$ و بیشتر در مهار ریشه‌گزری در خانواده کلم به وسیله قارچ‌ها مؤثر می‌باشد زیرا هاگ قارچ‌های بیماری‌زا در شرایط قلیایی یا اصلاً جوانه نزده و یا به‌طور ضعیف جوانه می‌زنند.

هوا و دما: خاک‌های مرطوب سرد برای پوسیدگی بذر و امراض گیاهی که به بوته‌میری مشهور است مطلوب می‌باشند. زه‌کشی خوب و کشت بر روی برجستگی و پشته‌ها به مهار این بیماری کمک می‌کند. مقادیر بالای آمونیوم (درمقایسه با نیترات) سبب افزایش پژمردگی به وسیله قارچ فوزاریوم می‌شود. بخار دادن^۳ و یا ضد عفونی کردن شیمیایی^۴ یک روش عملی برای مهار تعدادی از عوامل بیماری‌زا در خاک‌های گل‌خانه‌ای است. هرچند باید به‌خاطر داشت، که ضد عفونی کردن ریز جانداران مفید، مانند قارچ ریشه‌ها، و همین‌طور عوامل بیماری‌زا را با هم از بین خواهد برد، و بنابراین ممکن است خسارت آن از نفع آن بیشتر باشد.



شکل ۲۴-۱۱ عوامل بیماری خاکی سبب خسارتی به ریشه و همین‌طور سایر اعضا زیرزمینی می‌شوند. این سیب‌زمینی مورد حمله اکتینومیست عامل گال سیب‌زمینی گردیده که ممکن است در خاک‌ها با pH حد - بالاتر از ۵ وجود داشته باشند.

خاک‌های فرونشاننده امراض^۵: تحقیقات درمورد امراض گیاهی از پاختری گندم^۶ در ایالت واشنگتن گرفته تا پژمردگی حاصل از فوزاریوم موز در آمریکای مرکزی وجود خاک‌های مهارکننده بیماری را به اثبات رسانده است که در آن‌ها بیماری خاص قادر به توسعه نبوده، هرچند عامل بیماری‌زا و میزبان حساس نیز وجود داشته‌اند. دلیل این که خاک‌های خاص عاری از بیماری می‌گردند هنوز معلوم نشده است اما شواهد زیادی به نقش باکتری‌ها و قارچ‌های ناهمساز که عوامل بیماری‌زا را مهار می‌کنند، اشارت دارند.

در بعضی موارد خاصیت فرونشاندن بیماری در طول تک‌کشتی محصول در طولانی مدت به‌دست می‌آید. تجمع عوامل بیماری‌زا در طول چند سال اول نهایتاً به وسیله تجمع موجودات ضد آن‌ها کم اهمیت می‌گردد (شکل ۲۵-۱۱). در سایر موارد، مقادیری زیاد و متفاوت از مواد قابل تجزیه‌ی آلی و آهک برای تقویت فعالیت شدید و تنوع میکروبی می‌توانند به خاک اضافه شوند که به‌نوبه‌ی خود سبب ایجاد خاصیت فرونشاندن عوامل بیماری‌زای خاکی عمومی بیشتری گردد. متخصصین باغبانی در مهار بیماری فوزاریوم با تعویض مواد مخلوط گلدانی سستی با کمپوست پوست درختان موفق شده‌اند. ظاهراً تعداد زیادی از موجودات ناهمساز با بیماری در داخل ماده‌ی آلی در مراحل آخر کمپوست‌سازی تجمع می‌یابند.

¹ - Potato Scab

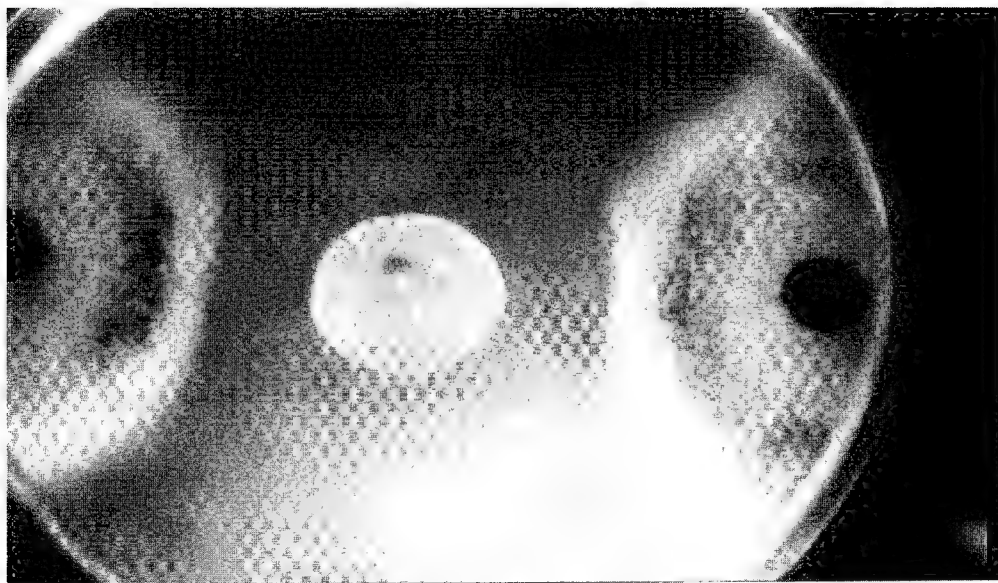
² - Spring dead

³ - Steam

⁴ - Chemical sterilization

⁵ - Disease-suppressive soils

⁶ - Take.all



شکل ۲۵-۱۱ مبنای زیستی خاک‌های فرونشاننده امراض در مهار بیماری پاخوره‌ی گندم. در قسمت بالا در وسط ظرف پتری مجموعه‌ای از باکتری‌های *Pseudomonas* از ریزوسفر گندمی که در خاک‌هایی دارای خاصیت فرونشانی بیماری پاخوره است، جدا گردیده و کشت شده است. جمعیت سدوماس یک آنتی‌بیوتیک تولید می‌کند که برای قارچ *Gaeumannomyces graminis* (قارچ بیماری‌زا که سبب ایجاد بیماری پاخوره‌ی گندم می‌گردد) سمی می‌باشد. این باکتری از رشد جمعیت عوامل بیماری‌زا در وسط پتری ممانعت می‌کند. (قسمت پایین) این کرت‌ها در ایالت واشنگتن شرقی برای مدت ۱۵ سال انحصاراً تحت کشت گندم بوده و جمعیت زیادی از موجودات خد عامل بیماری پاخوره‌ی گندم تولید کرده‌اند. در پانزدهمین سال مطالعه، قارچ *G.graminis* برای مقاصد آزمایشی تلقیح گردید اما بیماری در مناطقی گسترش یافت (به‌صورت کرت‌های دارای رنگ سفید که قبل از رشد کامل رسید دانه مشاهده می‌شوند) که خاک قبل از تلقیح با قارچ به‌وسیله‌ی گازها ضدعفونی شده بود. بخارات سمی اکثر موجودات ناهمساز را از بین برده و قارچ‌های بیماری‌زا را برای آلوده کردن نباتات آزاد گذاشته بود.

استتار ریزوسفر^۱: بسیاری از گونه‌ها و یا ارقام گیاهی درمقابل امراض خاص ناشی از خاک مقاوم می‌باشند. برطبق تحقیقات جدید، این نباتات که درمقابل امراض خاکزی مقاومند دارای ریزوسفر استتاری می‌باشند، و آن به‌این صورت است که هرچند ریزوسفر این گیاهان مقاوم از نظر تعداد میکروب‌ها غنی است، اما نوع میکروب‌های آن درمقایسه، برخلاف میکروب‌های ریزوسفر ارقام حساس، بسیار شبیه

^۱ - Rhizosphere camouflage

میکروب‌های کل خاک است. ممکن است با داشتن جامعه میکروبی مشابه جامعه میکروبی توده خاک ریزوسفر این گیاهان کمتر برای عوامل بیماری‌زا جذاب باشند. ممکن است عملیات کشت‌وکار که سبب اضافه‌شدن مقادیر زیادی مواد آلی تازه به خاک می‌شوند باعث گردند که جامعه میکروبی خاک بسیارشبه جامعه میکروبی ریزوسفرگردیده، و بنابراین سبب استتار آن و محدودکردن امراض ریشه گردند.

رقابت برای عناصر غذایی: ممکن است ریزجانداران خاک در رقابت برای به‌دست‌آوردن عناصر غذایی حداقل به‌طور موقتی سبب بروز خساراتی به گیاهان عالی گردند. موجودات خاک می‌توانند عناصر غذایی اساسی را به سرعت جذب یاخته‌های خود کرده و برای گیاهان عالی آنچه باقی‌مانده است، به‌جای بگذارند. نیتروژن عنصری است که معمولاً بیشترین رقابت برای جذب آن به‌عمل می‌آید، گرچه رقابت مشابهی برای فسفر، پتاسیم، کلسیم و حتی عناصر کم‌مصرف نیز رخ می‌دهد. این موضوع در جزئیات بیشتر در فصل ۱۲ و ۱۳ موردتوجه قرار گرفته است.

کاهش عرضه اکسیژن: در شرایط زه‌کشی ناقص ممکن است ریزگیاهان فعال خاک اکسیژن محدود از قبل را به اتمام برسانند. این تخلیه اکسیژن ممکن است به دو طریق در گیاهان اثرات منفی داشته باشد. اول این‌که ریشه گیاهان یک حداقل اکسیژن را برای رشد عادی و جذب عناصر غذایی لازم دارد. دوم این‌که اشکال اکسید شده عناصر متعدد نیتروژن، گوگرد، آهن و منگنز با فعالیت میکروبی بیشتر احیاء خواهند شد. در مورد نیتروژن و گوگرد، بعضی از اشکال احیاء‌شده گازی بوده و ممکن است به نیوار باز گردند (فصل ۹-۱۳ را مشاهده کنید) بنابراین، تأمین نیتروژن گیاهان را کاهش خواهد داد. ممکن است در خاک‌های که کاملاً اسیدی هستند، احیاء آهن و منگنز به‌وسیله باکتری‌ها قابلیت انحلال این عناصر را چنان بالا ببرد که به حد سمیت برسند. بنابراین، کیمبود وسمیت عناصر غذایی ناشی از فعالیت میکروبی می‌تواند در شرایط غیرهوازی حاصل گردد.

۱۱-۱۵ رابطه بوم‌شناختی بین موجودات خاک

همکاری‌های دوجانبه

پیشتر اشاره کردیم که تعدادی از همکاری‌های دوطرفه‌ی مفید بین ریشه گیاهان و موجودات خاک (برای نمونه گره‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و قارچ ریشه) و بین ریزجانداران متعدد (برای مثال گل‌سنگ) وجوددارد. سایر مثال‌ها از این همکاری‌ها در خاک فراوان است. برای مثال جلبک‌های دارای سوخت‌وساز نوری در یاخته تک‌یاخته‌گان خاص جایگزین می‌شوند. در بین انواع مختلف همکاری، همکاری جلبک و قارچ در رو و یا در داخل خاک‌ها و سنگ‌ها، در چرخه عناصر تولید زی‌توده در نظام‌های بیابانی بسیار مهم می‌باشند.

تعامل رقابتی

رقابت برای غذا: جمعیت میکروب‌های خاک معمولاً محدود به عرضه‌ی مواد غذایی بوده و با در دسترس قرارگرفتن زیاده‌تر مواد آلی به‌سرعت افزایش می‌یابد. در نتیجه خاک یک محیط رقابتی شدید برای خاک‌زیان ذره‌بینی خود فراهم می‌کند. وقتی ماده‌ی آلی تازه اضافه می‌شود، موجودات ناخودپرور قوی خاک (باکتری‌ها، قارچ‌ها و اکتینومیسیت‌ها) با همدیگر به‌خاطر این منبع غذایی رقابت می‌کنند. اگر قند، نشاسته و اسیدآینه‌ها در ماده‌ی آلی قابل‌استفاده باشد، ابتدا باکتری‌ها غالب می‌شوند زیرا این موجودات به‌سرعت تکثیر یافته و این ترکیبات ساده را ترجیح می‌دهند. به‌محض تجزیه این ترکیبات ساده، قارچ‌ها، به‌خصوص اکتینومیسیت‌ها، بیشتر رقابت می‌کنند.

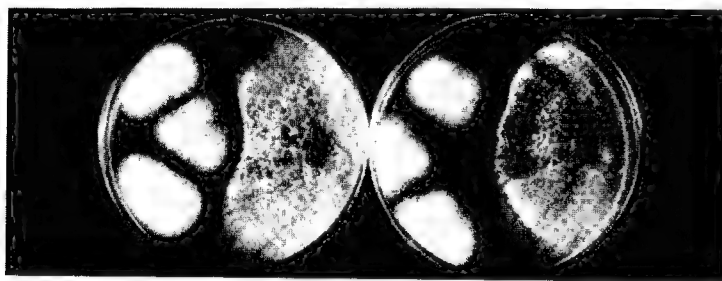
آنتی‌بیوتیک‌ها و سازوکارهای رقابتی: میکروب‌های خاک از روش‌های مبارزه مختلف زیادی در رقابت مرگبار خود استفاده می‌کنند. موجودات خاصی میزان اسیدیته را در پیرامون خود برای عدم استفاده رقیبان تغییر می‌دهند. دیگران موادی تولید می‌کنند (سایدروفور^۱) که چنان وارد پیوند با آهن می‌شود که دیگر موجودات در پیرامون بسیار نزدیک آن‌ها نمی‌توانند به‌خاطر کمبود این عنصر اساسی رشد کنند. باکتری‌ها، قارچ‌ها و اکتینومیسیت‌های خاص خاک تولید آنتی‌بیوتیک‌هایی می‌کنند، ترکیباتی که انواع مخصوص از دیگر جانداران در تماس با آن‌ها از بین می‌روند (شکل ۲۶-۱۱). کشف این تولیدات آنتی‌بیوتیکی پیشرفت تاریخی مهمی در علوم پزشکی داشته است. بسیاری از آنتی‌بیوتیک‌ها که در حال حاضر برای معالجه امراض انسان و حیوانات در بازار موجودند مانند پنی‌سیلین، استرپتومایسین و ارومایسین^۲ به‌وسیله موجودات خاک تولید می‌شوند. وقتی این فعالیت‌ها و دیگر فعالیت‌های ناهمساز^۳ ریزجانداران خاک در برابر موجودات دارای

^۱ - Siderophores

^۲ - Aureomycine

^۳ - Antagonist

توان ایجاد بیماری‌های گیاهی قرار گیرد، توقف شدید امراض گیاهی آشکار خواهد شد. زیست‌بوم‌شناسان میکروب‌ها در تلاشند بعضی از سازوکارهای رقابتی را به نفع ریزجانداران مطلوب خاک تحت تنظیم آورند (تابلو ۱۱-۱)



شکل ۲۶-۱۱ ناهمسازی قارچی. سه کلنی کوچک‌تر در هر ظرف یک ترکیب آنتی‌بیوتیک ترشح می‌کنند که از توسعه کلنی بزرگ‌تر قارچی در نصف ظرف مربوط به خود جلوگیری می‌کند. به منطقه روشن در پیرامون هر یک از کلنی‌های تولیدکننده آنتی‌بیوتیک توجه کنید.

اثرات عملیات کشاورزی در موجودات خاک

تغییر در محیط سبب تأثیر در تعداد و تنوع موجودات خاک می‌شود. جنگل‌تراشی و شخم‌زدن مراتع برای کشاورزی سبب تغییر شدید محیط خاک خواهد شد. اول این‌که کمیت و کیفیت پس‌مانده‌های گیاهی (غذا برای موجودات) به‌طور مشخص کاهش خواهد یافت. همین‌طور تعداد گونه‌های گیاهان عالی کاهش پیدا می‌کند. تک‌کشتی و حتی تناوب معمول نباتات، دامنه‌ی باریک‌تری از نباتات اصلی و ریزوسفر درمقایسه با آن‌چه طبیعت برای جنگل و مرتع فراهم می‌آورد ایجاد می‌کند.

درحالی‌که عملیات کشاورزی اثرات مختلفی بر موجودات مختلف اعمال می‌کنند، یک جمع‌بندی کلی قابل‌ارائه می‌باشد. جدول (۶-۱۱) بعضی از اصول را که در ارتباط با تنوع و جمعیت کل موجودات خاک است تشریح می‌کند. برای مثال، بعضی از عملیات کشاورزی معمولاً سبب کاهش تنوع گونه‌ها و همین‌طور جمعیت کل موجودات خواهد شد (به‌طور نمونه عملیات خاک‌ورزی زیاد و تک‌کشتی). گرچه تک‌کشتی می‌تواند سبب افزایش جمعیت چند گونه‌ی محدود شود.

جدول ۶-۱۱ اثرات کلی عملیات مهم مدیریت خاک در تنوع کلی و فراوانی موجودات خاک. توجه کنید عملیاتی که سبب ارتقاء تنوع زیستی و فعالیت موجودات خاک می‌گردند همان‌هایی هستند که در تلاش برای پایداری نظام‌های کشاورزی نیز نقش دارند.

افزایش تنوع و جمعیت	کاهش تنوع و جمعیت
استفاده‌ی مناسب از کود شیمیایی	بخارات سمی
مصرف آهک در خاک‌های اسیدی	نماتدکش‌ها
روش آبیاری مناسب	بعضی از حشره‌کش‌ها
زه‌کشی و تهویه بهتر	تراکم خاک
کود دامی و کمپوست	فرسایش خاک
لجن فاضلاب خانگی (تمیز)	ضایعات صنعتی و فلزات سنگین
خاک‌ورزی کاهش‌یافته یا صفر	گاوا آهن برگردان‌دار، هرس دندان‌های
تناوب زراعی	تک‌کشتی
مراتع - چمن نیام‌داران	گیاهان ردیفی
گیاهان پوششی و آیش با خاک‌پوش	آیش لخت
برگشت پس‌مانده گیاهی به سطح خاک	سوزاندن یا بیرون بردن پس‌مانده‌ی گیاهی
خاک‌پوش‌های آلی	خاک‌پوش‌های پلاستیکی

افزودن آهک و کودها (کودهای شیمیایی و کود دامی) به یک خاک غیرحاصل‌خیز معمولاً سبب افزایش فعالیت میکروب‌ها و جانوران عمدتاً به‌خاطر افزایش زیست‌دهی نبات است که به‌صورت ریشه، ترشحات ریشه و پس‌مانده‌های گیاهی به خاک باز می‌گردد. عملیات خاک‌ورزی ازطرف دیگر دارای نقش بسیار مهمی در به‌هم‌زدن بوم‌سامان، قطع ریشه قارچ‌ها و حفره‌های کرم‌های خاکی و همچنین تسریع

تجزیه و از بین رفتن ماده‌ی آلی خواهد شد. بنابراین نظام خاک‌ورزی کاهش^۱ یافته تمایل دارد که نقش قارچ‌ها را در مقایسه با باکتری‌ها افزایش دهد، و به‌طور کلی با تجمع ماده‌ی آلی در این نظام سبب افزایش جمعیت تمام موجودات گردد (جدول ۷-۱۱). اضافه کردن کود دامی سبب تحریک فعالیت میکروب‌ها و جانوران خاک (به‌خصوص کرم‌های خاکی)، حتی به مقدار بیشتری خواهد شد.

اثر آفت‌کش‌ها در بوم‌شناسی خاک (فصل ۴-۱۸ را مشاهده کنید). بسیار متفاوت است، گازهای سمی و نماتدکش‌ها می‌توانند به سرعت جمعیت موجودات را کاهش دهند، به‌خصوص در مورد جانوران خاک این کاهش حداقل موقتی صورت می‌گیرد. از طرف دیگر استفاده از آفت‌کش به‌خصوص اغلب سبب افزایش جمعیت ریزجانداران خاص خواهد شد دلیل آن ممکن است مصرف آفت‌کش به‌عنوان غذا به‌وسیله‌ی ریزجاندار، و یا با احتمال بیشتر از بین رفتن شکارچی آن ریزجاندار به‌وسیله‌ی علف‌کش باشد، شکل ۲۸-۱۱ تشریح می‌کند که چگونه عملیاتی که گروهی از ریزجانداران را تحت تأثیر قرار می‌دهد در روی سایر گروه‌ها نیز اثر گذاشته و نهایتاً بر روی توان تولید خاک و نقش خاک در زیست‌بوم مؤثر خواهد بود. عاقلانه این است که به یاد آوریم که روابط بین جانداران خاک بسیار پیچیده است و پیش‌بینی اثرات هر نوع آشفتگی در نظام مشکل می‌باشد.

تابلو ۱-۱۱ انتخاب یکی از دو طرف در جنگ بین میکروب‌ها

بیشرفت‌های جدید در دانش ما از توارث میکروب‌ها همراه با فناوری جدید در انتقال مواد توارثی در بین گونه‌های مختلف ریزموجودات، فرصت‌های بسیار جالب و امید بخشی را برای دانشمندان برای پیوستن به جنگ میکروبی در خاک ایجاد کرده است. دانشمندان روش‌های جدیدی را برای مهار کردن تضاد دیرینه موجود در بین ریزجانداران در حال تدارک می‌باشند دو نمونه عبارتند از (۱) ابداع روش‌های برای عمل‌آوری بذر با مصرف باکتری که بتواند در مقابل قارچ‌های بیماری‌زا از خود دفاع کند و (۲) معرفی باکتری ریزوبیوم مجهز به سلاح شیمیایی که بتواند زارعین را قادر سازد از نژادهای اصلاح شده باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن در محصولات نیام‌دار استفاده کنند.

نمونه اول یعنی عمل‌آوری بذر با مهارکننده‌ای زیستی حال به‌طور اقتصادی قابل‌دسترسی است. این عمل‌آوری به‌جای استفاده از قارچ‌کش‌های شیمیایی برای حفظ بذر از عوامل بیماری‌زای پوسیدگی ریشه در خاک از باکتری‌های ناهمساز استفاده می‌کند. این باکتری‌های محافظ از نژادهای *Pseudomonas fluorescens* بوده که به‌طور خاص انتخاب گردیده و ارتقاء یافته‌اند. این گونه باکتری ریزوسفر را مهار کرده و ریشه گیاهان را از امراض ناشی از خاک محافظت می‌کنند. وقتی این باکتری‌ها در جوی محل کشت بذر گندم مصرف شد، بذور گندم در خاکی که دارای قارچ پوسیدگی بود به‌طور سالم جوانه زدند. بذرهایی کاشته‌شده بدون مصرف باکتری قبل از جوانه‌زدن پوسیدند شکل (۲۷-۱۱). استفاده گسترده از این فناوری در محافظت بذر به‌جای روش مرسوم استفاده از مواد شیمیایی قارچ‌کش سبب کاهش بار آلودگی ترکیبات سمی در طبیعت خواهد شد.

مثال دوم شامل استفاده از مهندسی توارث برای مؤثر بودن ریزوبیوم تلقیحی است. دانشمندان در پیدا کردن نژادهای ریزوبیوم و برادری ریزوبیوم^۲ که دارای توانایی بهتر تثبیت نیتروژن مولکولی می‌باشد کاملاً موفق شده‌اند. متأسفانه موفقیت عملی اندکی در استفاده از این نژادهای اصلاح‌شده برای ارتقاء تثبیت نیتروژن در شرایط مزرعه به‌دست آمده است. مسأله این است که اکثر خاک‌ها دارای جمعیت بزرگی از نژادهای بومی ریزوبیوم است که در عین حال که از نظر تثبیت نیتروژن خیلی کارا نمی‌باشند، در تشکیل گره در محل‌های آلوده در روی ریشه‌ها خانواده نیام‌داران رقیب شدیدی می‌باشند. به‌خاطر رقابت موفقیت‌آمیز ریزوبیوم بومی برای بقا در خاک و تشکیل گره در روی ریشه نیام‌داران، ارقام اصلاح‌شده ریزوبیوم معمولاً موفقیت اندکی دارند، حتی در مواردی که مقادیر زیادی از باکتری‌های تلقیحی با بذر نیام‌دار و یا در خاک محل کشت بذر مصرف شده است بخش اکثر گره‌های تشکیل شده به روی ریشه نیام‌دار (۸۰ تا ۹۵ درصد) به‌وسیله‌ی نژادهای بومی بوده است. برای استفاده از توانایی بیشتر گونه‌های اصلاح‌شده در تثبیت نیتروژن ضروری است که به این ارقام اصلاح‌شده یک حاشیه‌ی رقابتی در مقابل پسرعموهای بومی آن‌ها اعطاء گردد. دکتر اریک تریپلت^۳ و همکاران ایشان در دانشگاه ویزسکانسین کشف کرده‌اند که رقم *Rhizobia leguminosarium bv trifoli* ماده‌ای تولید می‌کند که آن‌ها آن را تریفولیتوکسین^۴ نامیده‌اند که دیگر ارقام ریزوبیوم را مهار کرده اما بر ارقامی که آن را تولید کرده‌اند، تأثیری ندارد (فیت موریس ۱۹۹۵). بعد از

^۱ - Reduced tillage

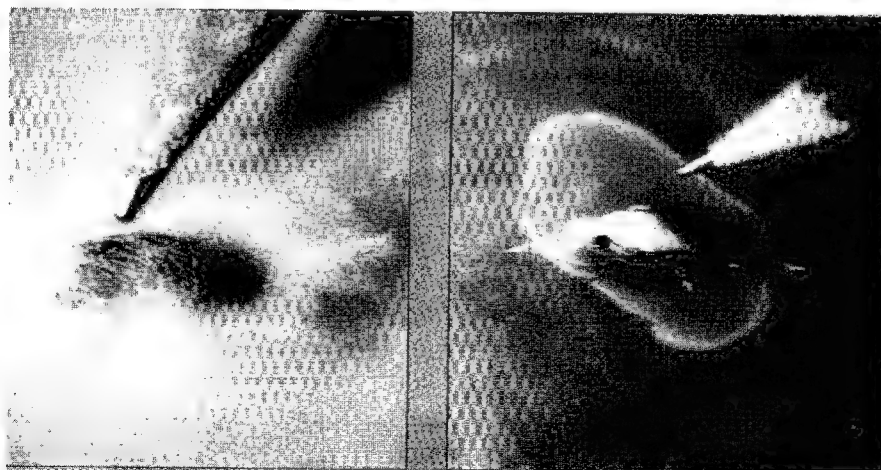
^۲ - *Bradyrhizobium*

^۲ - Dr. Eric Triplett

^۳ Trifolitoxin

^۴ - Fitzmaurice

سرآوردن از توالی رشته ژن‌های مهارکننده تولید و واکنش به ترپن‌های توکسین، دانشمندان توانستند که ژن‌های مربوطه را به سایر ارقام ریزوبیوم انتقال دهند. امید آن‌ها این است که با مسلح‌شدن با این نژادهای برتر ریزوبیوم، که از نظر تثبیت نیتروژن بسیار کارا می‌باشند، بتوانند نژادهای بومی دارای کارایی کمتر را در رقابت برای تشکیل گره‌ها بر روی ریشه گیاهان نیام‌دار از میدان بیرون کنند. اگر در این راه موفقیت حاصل شود، استفاده از تضاد میکروبی می‌تواند سبب ارتقاء تثبیت نیتروژن به‌وسیله گیاهان نیام‌دار گردد که پیامد آن فزونی عملکرد گیاهان و افزایش امکان جایگزینی نیتروژن حاصل از تثبیت زیستی به‌جای نیتروژن کود شیمیایی در تولید گیاهان غیرنیام‌دار است که توأم با گیاهان نیام‌دار و یا در تناوب با آن‌ها کاشته می‌شوند.



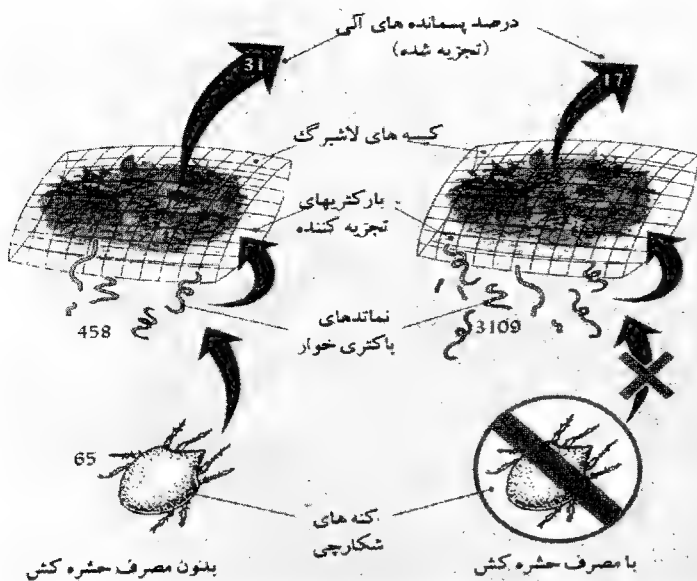
شکل ۲۷-۱۱ (سمت راست) بذر گندم که به‌وسیله باکتری‌های رقیب محافظت شده بود سالم باقی ماند در حالی که (سمت چپ) بذر محافظت نشده به‌وسیله قارچ‌های بیماری‌زا به‌شدت آلوده گردید

جدول ۱۱-۹ زیتوده‌ی کربن گروه‌های میکروبی و جانوری در یک خاک کشاورزی در ایالت جورجیا تحت مدیریت خاک‌ورزی گاواهن برگردان‌دار و یا بدون خاک‌ورزی.

خاک لوم‌شنی سری هیاواسی^۱ (کنه‌پلو دولت) با ذرت علوفه‌ای کشت‌شده در هر تابستان و گیاه پوششی چاودار کشت‌شده در هر زمستان، در شخم گاواهن، پس‌مانده‌های گیاهی با خاک مخلوط شده اما در خاک‌ورزی فاقد شخم و شیار پس‌مانده‌ها به‌صورت خاک‌پوش سطحی باقی‌ماندند. وظایف تجزیه‌کردن، تغذیه‌کردن از ریزگیاهان و ریزه‌خواری به‌وسیله موجودات بزرگ‌تر (قارچ‌ها ریزبندپایان و کرم‌های خاکی) در نظام بدون عملیات خاک‌ورزی انجام گرفت در حالی که موجودات کوچک‌تر (باکتری‌ها، تک‌یاخته‌گان، نماتدها و کرم‌های اینکی‌تراید) در نظام گاواهن غالب بودند.

میزان کربن kg/ha		عمق (سانتی‌متر)	گروه جانداران
بدون شخم	با شخم		
۳۶۰	۲۴۰	۰-۵	قارچ‌ها
۲۶۰	۲۷۰	۰-۵	باکتری‌ها
۲۴	۳۹	۰-۲۱	تک‌یاخته‌گان
-	-	۰-۲۱	نماتدها
۰/۱۴	۰/۴۷	۰-۲۱	قارچ‌خورها
۰/۸۲	۱/۲۷	۰-۲۱	باکتری‌خورها
۱/۳۱	۰/۴۹	۰-۵	ریزبندپایان
۵/۵۵	۴/۷۹	۰-۱۵	اینکی‌ترایدها
۶۰	۲۱	۰-۱۵	کرم‌های خاکی

^۱ - Hiawassee, Sandyloam, Kanhapludults



شکل ۲۸-۱۱- اثرات غیر مستقیم مصرف حشره کش ها بر تجزیه ی لاشبرگ بوته کروزوت در بوم سامان ییابانی. کیسه های پراز برگ و ساقه های بوته ی کروزوت در داخل خاک های ییابان در ایالات آریزونا، نوادا و کالیفرنیا در تیمارهایی با مصرف حشره کش (کلردان) و یا بدون مصرف آن مدفون گردیده حشره کش در واقع تمام حشرات و کنه ها را از بین برد. بدون کنه های شکارچی برای مهار نماتدهای باکتری خوار، تعداد آن ها به سرعت چند برابر شد و بخش عمده ای از جمعیت باکتری هایی که مسئول تجزیه لاشبرگ در چرخه ی عناصر غذایی هستند، به وسیله ی آن ها بلعیده گردید. بنابراین مصرف حشره کش میزان تجزیه ی لاشبرگ را به نصف کاهش داد. این عمل نه با اثر مستقیم بر باکتری ها بلکه غیر مستقیم با از بین بردن شکارچی آن ها انجام گرفت..

۱۶-۱۱ ریزجانداران حاصل از مهندسی ژنتیک (ترا ریخت)

پیشرفت‌ها در زیست‌شناسی مولکولی به دانشمندان اجازه داده است که تشخیص دهند کدام ژن‌های خاص و یا قطعاتی از مواد توارثی (DNA و یا RNA) برای یک رفتار خاص در یک جاندار خاص مسوول می‌باشند. به‌علاوه، دانشمندان فناوری‌هایی برای انتقال این مواد توارثی به سایر جانداران، نه الزاماً جانداران وابسته، ابداع نموده‌اند. این فناوری‌ها امکان مهندسی و ساخت ترکیبات جدید توارثی و ایجاد موجودات نو ترکیب توارثی^۱ را که در طبیعت وجود ندارد، فراهم ساخته است. توان استفاده از ریزجانداران حاصل از مهندسی ژنتیک^۲ در محیط خاک بسیار زیاد است. خاک‌هایی که قبلاً به‌وسیله‌ی مواد شیمیایی دچار آلودگی شده‌اند، می‌توانند به‌وسیله‌ی باکتری‌های خاک که توانایی‌های بالایی برای تخریب آلاینده‌های خاص آلی (به‌خصوص سموم مصنوعی) به آن‌ها اعطاء شده است تمیز گردد (فصل ۶-۱۸ را مشاهده کنید). سایر ریزجانداران حاصل از مهندسی ژنتیک (GEMs) سم‌های ایجاد می‌کنند که سبب از بین رفتن عوامل بیماری‌های و یا آفت‌های گیاهی خواهد شد. نمونه این‌کار انتقال ژن‌هایی از باکتری خاک *Bacillus thuringiensis* (Bt) به نژادی از باکتری *Pseudomonas fluorescens* است که با ریزوسفر نبات ذرت سازگار شده است. ژن‌های انتقال یافته مسوول تولید یک نوع پروتئین یا سم Bt هستند که سبب از بین رفتن نوزاد حشره ساکن در خاک (کرم ریشه ذرت) می‌شود که حمله آن‌ها به ریشه سبب کاهش عمده‌ای در محصول خواهد شد. سایر توان‌های استفاده از GEMs افزایش تثبیت نیتروژن در ریشه و یا ریزوسفر، بالابردن کارایی قارچ ریشه و افزایش ناهمسازی در مقابل عوامل بیماری‌زای گیاهی می‌باشند.

استفاده از GEMs خطر بروز اثرات جانبی نامطلوب را به دنبال داشته که پیش‌بینی آن‌ها مشکل است. در زیست‌بوم خاک تغییر در هر جزء سبب تغییر در بسیاری از اجزاء دیگر خواهد شد. همچنین جانداران غیرمورد نظر ممکن است از بین روند (برای نمونه کولومبلا به‌وسیله Bt GEM از بین می‌رود) و سبب کاهش تنوع زیستی و از بین رفتن تعادل بوم‌شناختی گردد. برای به حداقل رساندن خطرات تغییر بوم‌سامان بر اثر تسخیر آن به‌وسیله بزرگ آفات^۳، ریزجانداران حاصل از مهندسی ژنتیک باید چنان تغییر یابند که توانایی آن‌ها برای تکثیر و زنده‌مانی در داخل خاک ضعیف گردد. برای مثال به بعضی از GEMs ژن‌هایی که به ژن‌های خودکشی‌کننده مشهورند انتقال می‌دهند که باعث می‌شود جاندار در اثر شرایط خاص از بین برود.

نگرانی بیشتر احتمال انتقال مواد نواری (برای آلودگی ویروسی و یا انتقال قطعاتی از DNA فاقد کروموزوم در بین باکتری‌ها) به موجودات بومی است که با زنده‌مانی و توزیع در خاک به‌خوبی تطابق یافته‌اند و ممکن است شدت عوامل بیماری‌زای موجود را افزایش

¹ - Recombinant organisms

² - Genetically Engineered microorganisms (GEMs)

³ -Superbugs

دهند. به علاوه مهندسين ژنتيك از ژن‌های مقاوم در مقابل آنتی‌بیوتیک‌ها به عنوان شاخص (مارکر) برای ردیابی مواد توارثی که آن‌ها در تلاش دست‌کاری و انتقال آن‌ها می‌باشند، استفاده می‌کنند. نگرانی در اینجا آن است که ممکن است مقاومت آنتی‌بیوتیک‌ها از مواد حاصل از مهندسی ژنتیکی به سایر میکروب‌ها انتقال یافته و به آن‌ها یک حاشیه رقابتی اعطا کند که مجدداً سبب به هم خوردن تعادل بوم‌شناختی گردد. احتمالاً بدترین سناریو که به نظر اکثر دانشمندان بسیار غیرمحتمل اما غیرممکن هم نیست، انتقال شاخص‌های مقاوم در مقابل آنتی‌بیوتیک‌ها به بیماری‌های انسان است که سبب بی‌فایده‌بودن داروهای نجات بخش انسانی گردد. پرسش‌های مداوم در باره این نگرانی‌ها نیازمند آزمون و احتیاط هرچه بیشتر در رهاکردن مواد حاصل از مهندسی ژنتیک در محیط خاک است.

۱۷-۱۱ نتیجه‌گیری نهایی

خاک یک نظام پیچیده با جوامع متنوع از جانداران می‌باشد. موجودات خاک برای تداوم چرخه زندگی در کره زمین حیاتی هستند آن‌ها پس‌مانده‌های گیاهی و حیوانی را با خاک مخلوط نموده، آن‌ها را هضم و جذب کرده، گازکربنیک را به نیوار برگردانده، که می‌تواند به وسیله گیاهان عالی در چرخه‌ی مجدد (بازچرخ) قرار گیرد. همزمان با این فعالیت‌ها آن‌ها هموس را ایجاد می‌کنند. آن بخش از ماده‌ی آلی که برای ایجاد شرایط فیزیکی و شیمیایی مناسب خاک بسیار حیاتی می‌باشد.

درحین هضم مواد آلی، ریزجانداران سبب آزادشدن عناصر غذایی در اشکال معدنی می‌گردند که می‌تواند به وسیله‌ی ریشه گیاهان جذب شده، و یا از خاک به طبقات پایین آبشویی گردد. آن‌ها همچنین بر روی رنگ خاک از طریق واکنش‌های اکسایش-احیاء تأثیر می‌گذارند. حیوانات، به خصوص کرم‌های خاکی، مسوول مخلوط کردن مکانیکی پس‌مانده‌ها به داخل خاک و بازگذاشتن مجراهایی می‌باشند که در داخل آن آب و هوا جریان دارند. ریزجانداران مانند قارچ‌ها، اکتینومیست‌ها و باکتری‌ها دارای نقش اصلی برای تجزیه‌ی اکثر مواد آلی می‌باشند، اگرچه فعالیت آن‌ها تا حد زیادی تحت تأثیر جانداران خاک است. بعضی از این ریزجانداران با گیاهان عالی همزیست بوده و نقش خاصی در تغذیه‌ی گیاهی و چرخه‌ی عناصر غذایی ایفا می‌کنند. رقابت در بین میکروب‌های خاک، و بین آن‌ها و گیاهان عالی برای عناصر غذایی معدنی، می‌تواند سبب کمبود این عناصر در نبات گردد. نیازهای میکروبی در تعیین موفقیت اکثر نظام‌های مدیریتی خاک نقشی تعیین‌کننده دارد. ریزجانداران حاصل از مهندسی ژنتیک نوید بخش افزایش فعالیت مفید میکروبی بوده اما باید با احتیاط مورد استفاده قرار گیرند، زیرا آن‌ها دارای توان ایجاد مشکلات ناخواسته‌ی جاتی در نظام خاک می‌باشند.

جانداران خاک برای ایفای نقش کارا نیازمند انرژی و عناصر غذایی هستند که برای به‌دست‌آوردن آن آن‌ها ماده‌ی آلی را تجزیه کرده و با باقی‌گذاشتن ترکیباتی که برای گیاهان عالی مفیدند منجر به ایجاد هموس می‌گردند. این فرایندهای تجزیه، و اهمیت عملی آن‌ها در فصل بعد که با ماده‌ی آلی خاک سروکار خواهد داشت مورد ملاحظه قرار خواهند گرفت.

سوالات برای مطالعه

- ۱- تنوع گسترده وظایف زیستی (Functional redundancy) چیست و چگونه کمک می‌کند بوم‌سامان در مقابل تنش‌های محیطی مانند آتش‌گرفتن، قطع کامل درختان و یا شخم‌وشیار به نقش خود ادامه دهد؟
- ۲- در مثالی که در جدول ۷-۱۱ تشریح شد، در صورت وجود، موجوداتی را که نقش تولیدکننده‌گان اولیه، مصرف‌کننده‌گان اولی و دومی و سومی را دارند مشخص کنید.
- ۳- راه‌هایی را که جانوران با اندازه‌ی متوسط نقش مهمی در سوخت‌وساز خاک ایفا می‌کنند بیان کنید، هرچند زیتوده و فعالیت تنفسی آن‌ها بخش کوچکی از کل در داخل خاک می‌باشد.
- ۴- چهار نوع سوخت‌وساز اصلی که به وسیله‌ی موجودات خاک در ارتباط با منبع انرژی و کربن آن‌ها انجام می‌شود بیان کنید.
- ۵- نقش O_2 در سوخت‌وساز هوازی کدامست؟ چه عناصری جای آن‌را در شرایط غیرهوازی می‌گیرند؟
- ۶- گفته می‌شود میکوریز یک همزیستی است، دو جزء این همزیستی کدام‌ها هستند و سودمندی هر جزء کدامست؟
- ۷- از چند طریق خاک در اثر فعالیت کرم‌های خاکی اصلاح می‌شود. آیا کرم‌ها دارای اثرات زیان‌بار نیز می‌باشند؟
- ۸- ریزوسفر چیست و تفاوت خاک آن با خاک در بقیه مناطق چگونه است؟
- ۹- اثرات خاک‌ورزی و مصرف کود دامی را بر تنوع و فراوانی موجودات زنده خاک تشریح کرده و مقایسه کنید.
- ۱۰- سودمندی‌های بالقوه و احتمال خطرات در رهاسازی ریز موجودات تراریخت کدام‌ها هستند ؟

زمین غنی و سیاه آرمیده بود و با نوک
کجیل آنان آسان وا می‌رفت
(پ س پاک زمین خوب)

فصل ۱۲

ماده‌ی آلی خاک

طبق تعریف، تمام مواد آلی دارای کربن می‌باشند. میزان کربن مواد آلی خاک‌های جهان چهار برابر کربن موجود در پوشش گیاهی آن است بنابراین ماده‌ی آلی خاک یک نقش حیاتی در تعادل کربن روی زمین ایفا می‌کند، که به نظر می‌رسد عمده‌ترین عامل مؤثر در گرم شدن کره‌ی زمین و یا اثر گلخانه‌ای^۱ باشد. گرچه ماده‌ی آلی بخش کوچکی از جرم کل را در اکثر خاک‌ها دارا می‌باشد، اما این جزء فعال خاک در بسیاری از خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک تأثیر غالب دارد.

ماده‌ی آلی خاک یک مخلوط پیچیده و متغیر از مواد آلی است. بیشتر ظرفیت تبادل کاتیونی و ظرفیت نگهداری آب، در خاک‌های سطحی به وسیله‌ی آنان تأمین می‌گردد. ترکیبات خاص ماده‌ی آلی در تشکیل و پایداری خاکدانه‌ها دارای نقش عمده می‌باشند. ماده‌ی آلی خاک شامل مقادیر زیادی از عناصر غذایی گیاهی بوده که مشابه انبار برای ذخیره و رهاسازی آرام، به خصوص برای نیتروژن عمل می‌کند، به علاوه ماده‌ی آلی انرژی و مواد سازنده‌ی بدن اکثر ریزجانداران را که فعالیت کلی آنها در فصل ۱۱ مورد بحث قرار گرفت تأمین می‌کند. علاوه بر افزایش رشد گیاهی از طریق اثرات فوق‌الذکر، ترکیبات خاص آلی موجود در خاک دارای اثرات مستقیم در تقویت رشد گیاهان می‌باشند. با توجه به تمام این دلایل، افزایش کمیت و کیفیت ماده‌ی آلی خاک عامل اصلی در اصلاح کیفیت خاک می‌باشد.

اول نقش ماده‌ی آلی را در چرخه جهانی کربن و فرایند تجزیه پس‌مانده‌های گیاهی مورد بررسی قرار می‌دهیم، سپس توجه خود را به نهاده‌ها و هدررفت‌ها با توجه به کربن خاک در بوم‌سامان‌های خاص معطوف خواهیم داشت و در پایان به مطالعه فرایندها و پیامدهای موجود در مدیریت ماده‌ی آلی خاک خواهیم پرداخت.

۱-۱۲ چرخه جهانی کربن

عنصر کربن شالوده‌ی تمام حیات است. از سلولز گرفته تا سبزینه، ترکیباتی که بافت‌های زنده را تشکیل می‌دهند از اتم‌های کربن تشکیل گردیده‌اند که در رشته‌ها و یا حلقه‌هایی همراه با بسیاری از عناصر دیگر نظم و ترتیب یافته‌اند. چرخه کربن در روی زمین خود داستان حیات در این سیاره است. چرخه کربن دربرگیرنده‌ی کل است زیرا شامل خاک، گیاهان عالی از هر نوع، و تمام حیات جانوری از جمله انسان‌ها نیز می‌باشد، تخریب چرخه کربن به معنی مصیبت برای تمام موجودات زنده است.

مسیرهای چرخه کربن

مسیرهای اصلی موجود در چرخه جهانی کربن در شکل ۱-۱۲ آمده است. گیاهان گاز کربنیک را از نیوار اخذ کرده و سپس طی سوخت‌وساز نوری (فتوسنتز)، انرژی خورشیدی را به صورت پیوندهای کربن به کربن مولکول‌های آلی (شبه آن‌چه در بخش ۱۲-۱۲ تشریح شده است) به دام می‌بندازند. بعضی از این مولکول‌های آلی به عنوان منبع انرژی (طی فرایند تنفس) به وسیله‌ی خود گیاهان (به خصوص به وسیله‌ی ریشه گیاهان) مورد استفاده قرار گرفته، و کربن به صورت گاز کربنیک به نیوار باز می‌گردد باقی‌مانده مواد آلی به طور موقتی به صورت تشکیل دهنده‌گان پوشش گیاهی سرپا ذخیره می‌گردند که بیشترین مقدار آن نهایتاً به صورت لاشیبرگ گیاهی (از جمله پس‌مانده‌های گیاهی) و یا بقایای ریشه به خاک باز می‌گردند (بخش ۱۷-۱۱ را مشاهده کنید). ممکن است بعضی از مواد گیاهی به وسیله‌ی حیوانات (از جمله انسان) خورده شوند، که در آن صورت نصف کربن خورده شده به وسیله‌ی گاز کربنیک بازدم به نیوار باز می‌گردد. کربنی که به نیوار باز نمی‌گردد به صورت فضولات، یا بافت‌های بدن مجدداً به خاک بر می‌گردد. بافت‌های گیاهی کربن ذخیره شده در بیرون و یا داخل خاک در چرخه‌ی سوخت‌وساز (هضم) موجودات خاک قرار گرفته و نهایتاً به صورت گاز کربنیک به نیوار باز می‌گردند.

^۱ - Greenhouse effect

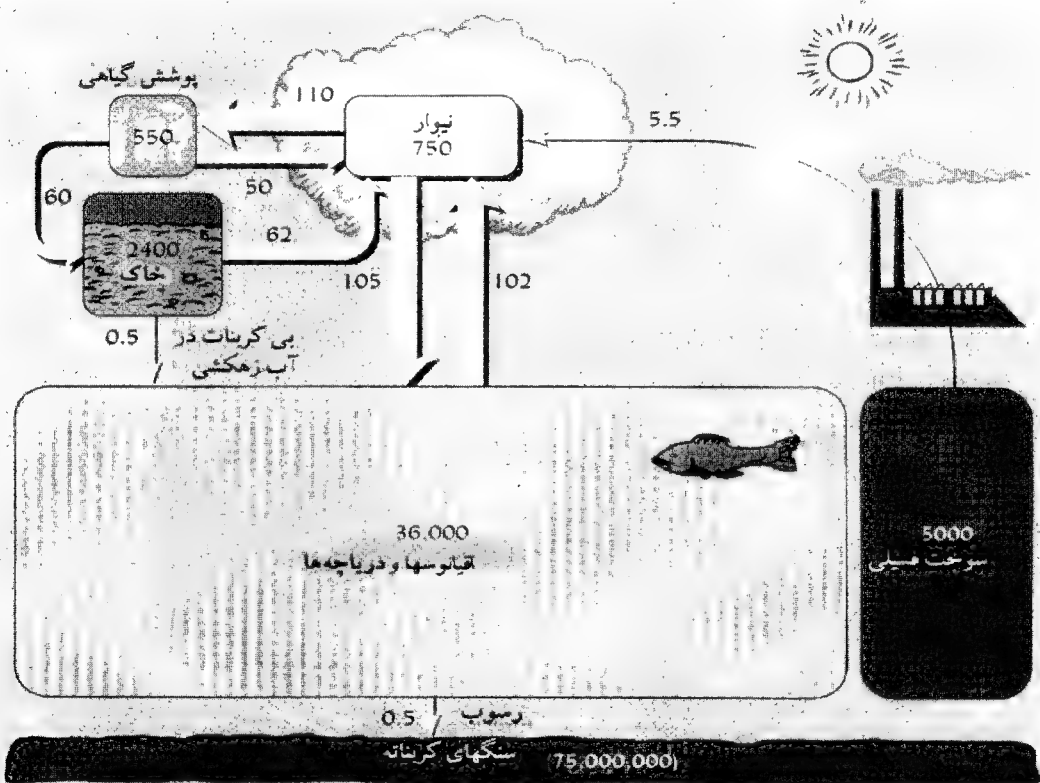
مقادیر بسیار کمتر گازکربنیک در داخل خاک وارد واکنش شده و تولید اسید کربنیک (H_2CO_3) و کربنات‌ها و بی‌کربنات‌های کلسیم، پتاسیم، منیزیم و سایر کاتیون‌های تشکیل‌دهنده‌ی بازمی‌شود، بی‌کربنات‌ها نسبتاً محلول بوده و می‌توانند بر اثر زه‌کشی جدا شوند. نهایتاً، بیشتر کربن موجود در کربنات‌ها و بی‌کربنات‌ها نیز به‌صورت گازکربنیک به نیوار باز می‌گردند.

سوخت‌وساز میکروبی، بعضی از ترکیبات آلی چنان پایداری را در خاک ایجاد می‌کند که سال‌ها، و حتی قرن‌ها باید بگذرد تا کربن آنها به‌صورت گازکربنیک وارد نیوار شود. چنین مقاومت در مقابل تجزیه باعث می‌شود که ماده‌ی آلی در خاک تراکم کند.

منابع کربن

منبع اصلی ماده‌ی آلی خاک بافت‌های گیاهی است. تحت شرایط طبیعی، قسمت‌های هوایی و ریشه درختان، بوته، علف‌ها و دیگر گیاهان بومی سالانه مقدار زیادی پس‌مانده‌های آلی فراهم می‌آورند. حتی در محصولاتی که برداشت می‌شوند، $\frac{1}{10}$ تا $\frac{1}{3}$ نبات در سطح خاک باقی‌مانده و یا با خاک مخلوط می‌شود. غیراز محصولات ریشه‌ای مانند هویج، چغندر قند و دیگر نباتات، تمام ریشه‌ها در داخل خاک باقی می‌ماند.

حیوانات منبع دوم ماده‌ی آلی می‌باشند. آنها با خوردن اندام‌های اصلی نبات تولید فضولات کرده و اجساد خود را هنگام مرگ بر روی خاک باقی می‌گذارند. اشکال خاص از حیات جانوری، به‌خصوص کرم‌های خاکی، موریه‌ها، مورچه‌ی جعل‌ها^۱ مهمی در مخلوط‌کردن و انتقال پس‌مانده‌های گیاهی ایفا می‌کنند.



شکل ۱-۱۲ نمایش ساده‌ی چرخه‌ی جهانی کربن با تأکید بر مخازن کربن که با نیوار در تعامل می‌باشند. شماره‌ها در محفظه‌ها بیانگر Pg (پتاگرم مساوی با 10^{15} گرم) کربن ذخیره‌شده در مخازن است. شماره‌ها با پیکان‌ها بیانگر میزان جریان کربن سالانه (Pg/y) در مسیرهای مختلف بین منابع است. توجه داشته باشید که خاک دارای دو برابر کربن مجموع پوشش گیاهی و نیوار می‌باشد. عدم تعادلی که به‌وسیله‌ی انسان ایجاد می‌شود، می‌تواند در جریان کربن به نیوار از سوزاندن سوخت‌های فسیلی دیده شود. ($Pg = 0/0$) و این حقیقت که کربن بیشتری ($12+0/0$) به مقایسه با کربن ورودی ($Pg = 60$) خاک را ترک می‌کند. این عدم تعادل تاحدی فقط بر اثر افزایش جذب کربن نیوار به‌وسیله‌ی اقیانوس‌ها مهار می‌شود. نتیجه نهایی ورود $219/0$ پتاگرم کربن سالانه به نیوار می‌باشد درحالی‌که فقط 210 پتاگرم در سال از آن برداشت می‌شود. بنابراین، به آسانی می‌توان فهمید که چرا میزان گازکربنیک در نیوار در حال افزایش است.

^۱ - Dung beetles

در مقیاس جهانی در هر زمان حدود ۲۴۰۰ پتاگرم کربن در خاکرخ به‌صورت ماده‌ی آلی (به‌استثنای لاشبرگ سطحی) ذخیره می‌شود، که حدود یک سوم آن در عمق بیشتر از یک متر قرار گرفته است، ۷۰۰ پتاگرم دیگر به‌صورت کربنات‌ها در خاک ذخیره می‌شود که با هوادهی، CO₂ را آزاد می‌کنند به‌طور کلی، ۲ برابر مجموع کربن ذخیره شده در پوشش نباتی و نیوار جهانی در خاک ذخیره شده است (شکل ۱-۱۲). البته این کربن به‌طور یکنواخت در تمام خاک‌ها توزیع نیافته است (جدول ۱-۱۲). حدود ۴۵ درصد کربن موجود در خاک تنها در سه راسته‌ی هیستوسول^۱ اینسپتیسول^۲ و جلی‌سول^۳ قرار دارند، راسته‌ی هیستوسول‌ها (و زیرراسته‌ی هیستل^۴ در راسته‌ی جلی‌سول) دارای گسترش کمی بوده اما دارای مقادیر خیلی زیادی ماده‌ی آلی در واحد سطح اراضی می‌باشند. اینسپتیسول‌ها (و جلی‌سول‌های غیرهیستیک) دارای مقادیر متوسط کربن می‌باشند اما مناطق وسیعی از کروی زمین را پوشش می‌دهند. دلیل متغیر بودن مقدار کربن آلی در خاک‌های مختلف در بخش ۱۰-۱۲ در جزئیات مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

در یک زیست‌بوم طبیعی بالغ، و یا زیست‌بوم کشاورزی پایدار، آزاد شدن کربن به‌صورت گازکربنیک بر اثر اکسایش ماده‌ی آلی خاک (عمدتاً با تنفس میکروبی) با میزان کربن افزوده به خاک به‌صورت پس‌مانده‌های گیاهی (و تا حد کمتر پس‌مانده‌های حیوانی) به تعادل می‌رسند. هرچند همان‌طور که در بخش ۱۰-۱۲ بحث می‌شود، دخل و تصرف در نظام و به‌هم‌زدن آن مانند آتش‌زدن، جنگل‌تراشی، زه‌کشی خاک و عملیات خاک‌ورزی، سبب کاهش خالص کربن در نظام خاک می‌گردد.

شکل ۱-۱۲ نشان می‌دهد که به‌طور جهانی آزاد شدن کربن از خاک‌ها به‌داخل نیوار ۶۲ پتاگرم در سال است، درحالی‌که فقط ۶۰ پتاگرم در سال از نیوار به‌وسیله‌ی پس‌مانده‌های گیاهی داخل خاک می‌شود. این عدم تعادل حدود ۲ پتاگرم در سال، همراه با ۵/۵ پتاگرم حاصل از کربن آزاد شده به‌وسیله‌ی سوزاندن سوخت‌های فسیلی (کربن مصادره شده از نیوار در میلیون‌ها سال قبل) فقط تا حدی بر اثر افزایش جذب گاز کربنیک نیوار به‌وسیله‌ی آب دریاها جبران می‌گردد.

جدول ۱-۱۲ جرم کربن آلی در خاک‌های جهان. مقادیر یک متر فوقانی بیانگر بخش اکثر کربن موجود در خاکرخ است. ۱۵ سانتی‌متر فوقانی معمولاً معرف سطح خاک است که به آسانی تحت تأثیر طرز استفاده از اراضی و مدیریت خاک قرار می‌گیرد.

راسته‌ی خاک	مساحت جهانی ۱۰۰۰ کیلومتر مربع	*** کربن آلی در ۱۰۰ سانتی‌متر فوقانی خاک			
		مگاگرم در هکتار	جهانی پتاگرم	درصد جهانی	دامنه تغییرات درصد وزنی
آنتی‌سول	۱۴۹۲۱	۹۹	۱۴۸	۹	۰/۰۶-۶
* اینسپتیسول	۲۱۵۸۰	۱۶۳	۳۵۲	۲۲	۰/۰۶-۶
* هیستوسول	۱۷۴۵	۲۰۴۵	۳۵۷	۲۳	۱۲-۵۷
اندی‌سول	۲۵۵۲	۳۰۶	۷۸	۵	۱/۲-۱۰
ورتی‌سول	۳۲۸۷	۵۸	۱۹	۱	۰/۵-۱/۸
اریدی‌سول	۳۱۷۴۳	۳۵	۱۱۰	۷	۰/۵-۱
مولی‌سول	۵۴۸۰	۱۳۱	۷۳	۵	۰/۹-۴
اسپدوسول	۴۸۸۷	۱۴۶	۷۱	۵	۱/۵-۵
الفی‌سول	۱۸۲۸۳	۶۹	۱۷۲	۸	۰/۵-۳/۸
التی‌سول	۱۱۳۳۰	۹۳	۱۰۵	۷	۰/۹-۳/۳
اکسی‌سول	۱۱۷۷۲	۱۰۱	۱۱۹	۸	۰/۹-۳
اراضی متفرقه	۷۶۴۴	۲۴	۱۸	۱	-
کل	۱۳۵۲۱۵	- -	۱۵۷۶	۱۰۰	- -

* کربن ذخیره شده در Gelisols در این خاک‌ها آمده است.

** ماده‌ی آلی را می‌توان به‌طور تقریبی با ضرب ۱/۷۲ در این اعداد به‌دست آورد. نیتروژن آلی را نیز از ارقام کربن آلی یا تقسیم آن‌ها به ۱۲ می‌توان به‌دست آورده برای راسته‌های اریدی‌سول این ضریب مقداری کمتر و حدود ۱۰ می‌باشد. برای راسته‌ی هیستوسول و سایر خاک‌های مناطق مرطوب باتلاقی این ضریب مقداری بالاتر و حدود ۲۰ می‌باشد.

۱ - Histosols
۲ - Inceptisols
۳ - Gellisols
۴ - Histols

سوزاندن سوخت‌های فسیلی و انواع کاربری‌های تخریب‌کننده اراضی سبب تمرکز گازکربنیک با نرخ تشدید از ابتدای انقلاب صنعتی، یعنی از ۴۰ سال قبل گردیده است. در نتیجه غلظت گاز کربنیک در نیوار با سرعت زیاد در حال افزایش است، به‌طوری‌که از ۲۹۰ قسمت در میلیون در قرن گذشته به ۳۷۰ میلیون در قسمت در حال حاضر رسیده است. نقش عدم تعادل گازکربنیک و انتشار سایر گازها در اثرات گلخانه‌ای به دنبال بررسی فرایندهای موجود در چرخه‌ی کربن در بخش ۱۱-۱۲ تشریح خواهد شد.

۱۲-۲ فرایند تجزیه در داخل خاک‌ها

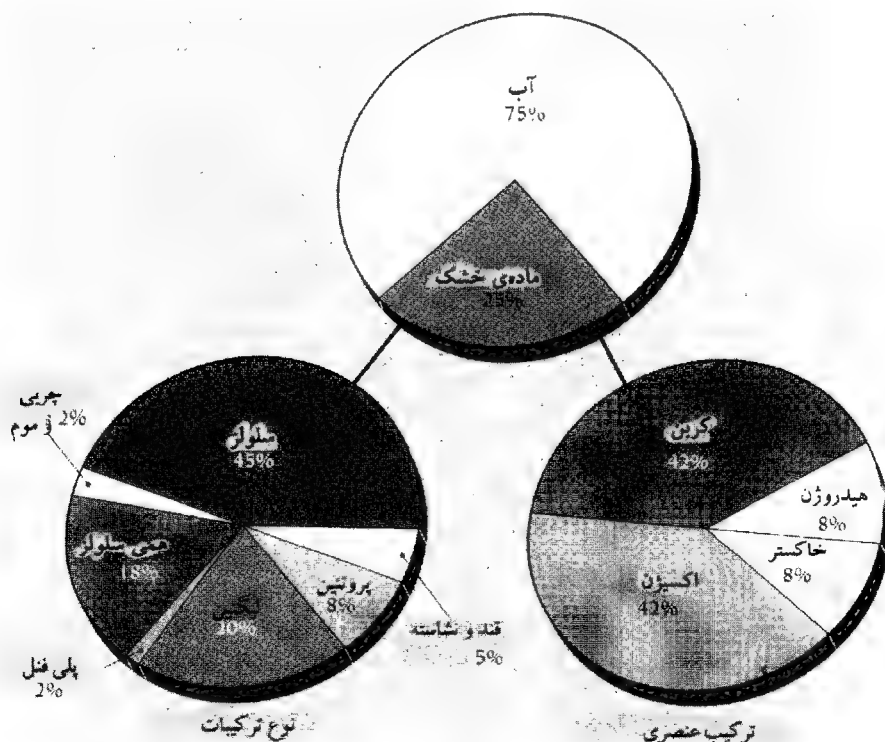
از آن‌جاکه پس‌مانده‌های گیاهی مواد اصلی می‌باشند که در خاک مورد تجزیه قرار می‌گیرند و از آن‌جاکه منبع اولیه ماده‌ی آلی خاک پس‌مانده‌های گیاهی است، ترکیب بافت‌های گیاهی را مورد ملاحظه قرار خواهیم داد.

ترکیب پس‌مانده‌های گیاهی

بافت‌های سبز گیاهی عمدتاً از آب تشکیل شده‌اند به‌طوری‌که میزان رطوبت آنها از ۶۰ تا ۹۰ درصد متغیر و رقم شاخص ۷۵ درصد می‌باشد (شکل ۱۲-۲). اگر اندام‌های گیاهی خشک گردند به‌طوری‌که تمام رطوبت آنها خارج شود، تجزیه ماده‌ی خشک باقیمانده نشان می‌دهد که بیشتر از ۹۰ تا ۹۵ درصد براساس وزنی از کربن، اکسیژن و هیدروژن تشکیل شده است.

طی فرایند سوخت‌وساز توری این عناصر از آب و گازکربنیک استحصال شده‌اند. اگر ماده‌ی خشک سوزانده شود (اکسیده شود) این عناصر بار دیگر به آب و گازکربنیک تبدیل می‌شوند البته با سوختن پس‌مانده‌های گیاهی خشک مقداری خاکستر (و دود) تشکیل گردیده که باقیمانده‌ی ۵ تا ۱۰ درصد ماده‌ی خشک را شامل خواهد شد.

در خاکستر (و دود) بسیاری از عناصر که قبلاً به‌وسیله‌ی گیاه از خاک برداشت شده است وجود دارد. این مواد گرچه در مقادیر نسبتاً اندکی در نبات وجود دارند، اما نقشی حیاتی را در تغذیه‌ی نبات و برآورد نیازهای ریزجانداران خاک، ایفا می‌کنند. عناصر اساسی در خاکستر مانند نیتروژن، گوگرد، فسفر، پتاسیم و عناصر کم‌مصرف در جزئیات بیشتر در فصول بعد مورد بحث قرار خواهند گرفت.

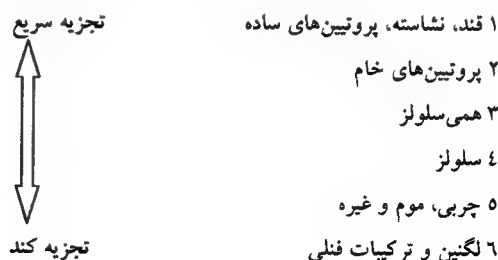


شکل ۱۲-۲ ترکیب شاخص مواد گیاهان سبز. تقسیم‌بندی دایره ترکیبات شاخص را مشخص می‌سازد، انواع ترکیبات عمده ماده‌ی آلی در سمت چپ مشخص شده است و ترکیب عنصری در سمت راست قرار گرفته است، خاکستر شامل عناصری به‌غیر از کربن-اکسیژن و هیدروژن (ازت، گوگرد، کلسیم و غیره) می‌باشد.

ترکیبات آلی در پس‌ماندهای گیاهی: ترکیبات آلی در بافت‌های گیاهی می‌توانند در دسته‌های وسیع همان‌طور که در شکل ۲-۱۲ نشان داده شده است گروه‌بندی شوند. اگرچه درصدهای شاخص این کلاس‌ها در شکل ۲-۱۲ نشان داده شده است، بافت‌های گیاهی گونه‌های مختلف و همین‌طور قسمت‌های مختلف آن‌ها (برگ، ریشه و ساقه) در یک نبات مشخص از نظر ترکیب متفاوتست. کربوهیدرات‌ها از نظر پیچیدگی ساختمانی از شکر ساده و نشاسته تا سلولز متغیر می‌باشند و بخش اعظم ترکیبات ماده‌ی آلی را شامل می‌باشند.

لگنین‌ها که ترکیبات پیچیده‌ای با ساختمان حلقوی شکل فنلی دارند از اجزاء دیواره‌ی یاخته می‌باشند، میزان لگنین با بلوغ نبات و به‌خصوص در بافت‌های چوبی، افزایش می‌یابد. سایر پلی‌فنل‌ها مانند تانن، ممکن است ۶ تا ۷ درصد در برگ‌ها و پوست درختان خاص (برای نمونه، رنگ قهوه‌ای چای دم‌کشیده) وجود داشته باشد. لگنین و پلی‌فنل‌ها از نظر مقاومت به تجزیه مشهورند. بخش‌های خاصی از نباتات به‌خصوص پذر و برگ دارای مقادیر زیادی چربی، موم و روغن می‌باشند که از کربوهیدرات‌ها پیچیده‌تر بوده اما به پیچیدگی لگنین‌ها نمی‌رسند. پروتیین حدوداً دارای ۱۶ درصد نیتروژن و مقادیر کمتری از سایر عناصر اساسی مانند گوگرد، منگنز، مس و آهن می‌باشند. پروتیین‌های ساده به آسانی تجزیه و نیتروژن خود را رها می‌سازند، درحالی‌که پروتیین‌های پیچیده خام^۱ به تجزیه مقاوم‌تر می‌باشند.

نرخ تجزیه: ممکن است ترکیبات آلی از نظر سهولت تجزیه به‌صورت زیر مشخص شوند:

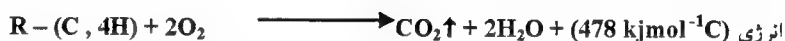


تجزیه ترکیبات آلی در خاک‌های دارای تهویه خوب

وقتی اندام‌های گیاهی به خاک دارای تهویه خوب اضافه شوند سه نوع واکنش عمومی صورت خواهد گرفت:

- ۱- ترکیبات کربن به‌صورت آنزیمی اکسایش یافته، و گاز کربنیک، آب، انرژی و زیوده تجزیه‌کننده تولید می‌شوند.
- ۲- عناصر ضروری مانند نیتروژن، فسفر و گوگرد آزادشده، و/یا به‌وسیله مجموعه‌ای از واکنش‌های خاص که برای هر عنصر اختصاصی است از تحرک باز خواهند ماند.

- ۳- ترکیبات خیلی مقاوم در مقابل باکتری‌ها یا از طریق تغییر ترکیبات در اندام‌های اصلی گیاهی و یا بازسازی میکروبی تشکیل می‌شوند.
- تجزیه: یک فرایند اکسایش. در یک خاک دارای تهویه خوب تمام ترکیبات آلی موجود در پس‌ماندهای گیاهی موجود در معرض اکسایش قرار می‌گیرند. از آن‌جاکه بخش آلی پس‌ماندهای گیاهی عمدتاً از کربن و هیدروژن تشکیل شده است، اکسایش ترکیبات آلی در خاک می‌تواند به‌صورت زیر ارائه شود:

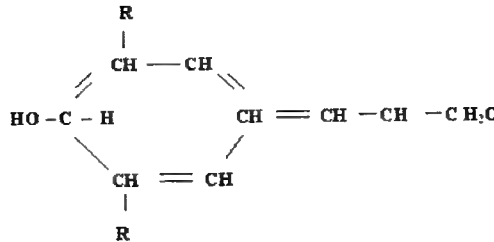


ترکیبات حاوی کربن و هیدروژن

مراحل میانی در این واکنش عمومی وجود داشته و با واکنش‌های جانبی مهم همراه بوده که عناصر دیگری غیر از کربن و هیدروژن را شامل می‌باشند. باین‌وصف این واکنش اساسی تجزیه‌ی اکثر ماده‌ی آلی در خاک و همین‌طور مصرف اکسیژن و آزادشدن گاز کربنیک را به‌عهده دارد. تجزیه‌ی پروتیین‌ها: پروتیین گیاهی نیز در معرض تجزیه‌ی میکروبی قرار گرفته و نه تنها منجر به تولید گاز کربنیک و آب می‌شود، بلکه سبب ایجاد اسیدآمین‌ها مانند گلیسین (CH_2NH_2COOH) و سیستین ($CH_2HSCHNH_2COOH$) نیز می‌گردد این ترکیبات نیتروژنی و گوگردی به‌نوبه‌ی خود بیشتر تجزیه شده و نهایتاً سبب ایجاد یون‌های معدنی ساده مانند آمونیوم (NH_4^+) نترات (NO_3^-) و سولفات (SO_4^{2-}) خواهد شد. تجزیه‌ی لگنین: مولکول‌های لگنین بسیار بزرگ و پیچیده بوده و شامل صدها حلقه‌های درهم فروخته فنلی می‌باشد که اکثر آنها دارای ساختمان مشابه فنل‌پروپین همراه با گروه‌های متوکسیل چسبیده به آن ($-OCH_3$) می‌باشند که در شکل زیر به‌صورت R و یا R^- نشان داده شده است.

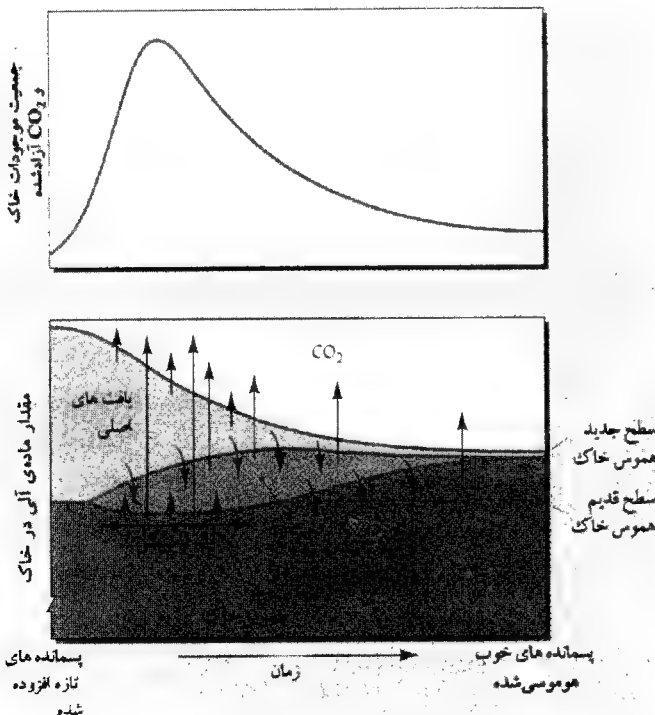
¹ - Complex crude proteins

از آن‌جاکه ارتباط بین این ساختمان‌ها بسیار متعدد و قوی است، فقط ریزجانداران معدودی (عمدتاً قارچ‌های پوسیدگی سفید) می‌توانند آنها را تجزیه کنند. تجزیه در ابتدا با کندی پیش رفته و معمولاً با مساعدت فعالیت‌های فیزیکی جامعه‌ی جانوری خاک همراه است، وقتی واحدهای فرعی لگنین جدا گردید، بسیاری از ریزجانداران در تجزیه‌ی آنها شرکت می‌کنند، چنین تصور می‌شود که ریزجانداران بعضی از ساختارهای حلقه‌ی لگنین را در بازساخت مواد آلی پایدار خاک مورد استفاده قرار می‌دهند.



مثالی از تجزیه‌ی ماده‌ی آلی

فرایند تجزیه آلی طی زمان در شکل ۳-۱۲ تشریح شده است. فرض کنید که خاک دست‌نخورده باقی مانده و پس‌مانده‌های گیاهی برای مدت زیادی در آن مصرف نشده باشد. ابتدا مواد قابل تجزیه آسان وجود ندارد. ریزجانداران اصلی، که به‌طور فعال دارای سوخت‌وساز می‌باشند، جمعیت کوچک موجودات بومی^۱ بوده که می‌توانند با هضم آرام و مداوم مواد آلی هموسی شده بسیار مقاوم خاک به بقای خود ادامه دهند. رقابت برای غذا شدید بوده و فعالیت میکروب‌ها (که در تنفس بازتاب یافته) نسبتاً پایین است، میزان کربن آلی خاک با آهستگی و لی با مداومت درحال از بین رفتن می‌باشد.



شکل ۳-۱۲ تشریح تصویری تغییرات کلی که در هنگام اضافه کردن پس‌مانده‌های گیاهی تازه به خاک صورت می‌گیرد پیکان‌ها بیانگر انتقال کربن در بین منابع می‌باشند. زمان لازم برای فرایند در ارتباط با طبیعت ماده‌ی آلی و خاک می‌باشد بیشتر کربن آزاد شده طی تجزیه سریع اولیه پس‌مانده‌های گیاهی به گازکربنیک تبدیل می‌شوند اما از مقادیر کوچک‌تر کربن که به ترکیبات بازسازی شده میکروبی و نهایتاً هموس خاک تبدیل می‌شود نباید چشم‌پوشی کرد. توجه داشته باشید که میزان هموس در آخر فرایند افزایش می‌یابد اما در اوج فعالیت میکروبی برخی از هموس‌های اصلی به‌وسیله‌ی پدیده‌ای که به آن اثرات اولیه (اصلی) گفته می‌شود از دست می‌رود. وقتی پوشش گیاهی، شرایط محیط و مدیریت برای مدت طولانی ثابت باقی بماند هموس خاک به سطح تعادل می‌رسد که در آن کربن اضافه‌شده به منبع هموس به‌وسیله‌ی تجزیه پس‌مانده‌های گیاهی سالانه با هدررفت کربن از طریق تجزیه هموس موجود تعادل خواهد بود.

سپس، به‌طور ناگهانی مقداری زیادی بافت‌های تازه قابل تجزیه به خاک افزوده می‌شود، ممکن است درختان در پاییز برگ خود را خزان کنند و یا زارع بقای محصول برداشت‌شده خود را به خاک بازگرداند. در حال نمودارشدن ترکیبات قابل تجزیه سریع مانند شکر، نشاسته و سلولز سبب تحریک فعالیت سوخت‌وساز فراوان در میکروب‌ها خواهد شد. به‌زودی جای جمعیت‌های بومی و فعالیت کند را جمعیت در حال افزایش شدید مانند فرصت‌طلب‌ها^۲ که در حال رکود (خواب) بوده‌اند، خواهد گرفت. موجودات هضم‌کننده‌ی سلولز به‌سرعت

^۱ - Autochthonous organisms

^۲ - zymogenous

در تجزیه شرکت می‌کنند. تعداد میکروب‌ها و متصاعد شدن گاز کربنیک از تنفس میکروبی، هردو به صورت تابع نمایی در ارتباط با منابع جدید غذا افزایش خواهند یافت.

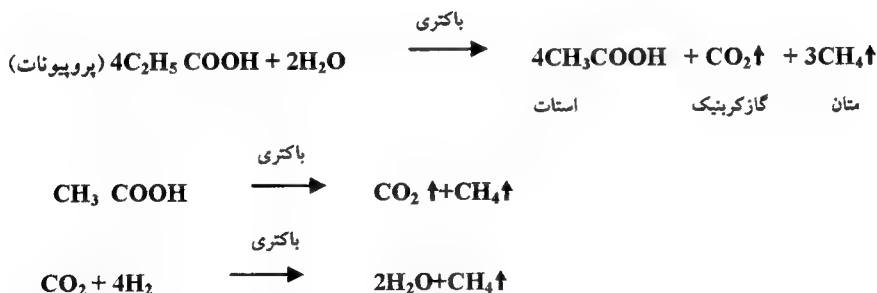
به‌زودی فعالیت میکروبی به اوج خواهد رسید و در آن نقطه، انرژی به سرعت آزاد و گاز کربنیک به مقدار زیادی تولید خواهد شد. ترکیبات جدید آلی به‌همین ترتیب به‌وسیله میکروب‌ها مجدداً بازسازی خواهند شد. ممکن است زیتوده میکروبی در این نقطه به ۱/۶ ماده‌ی آلی خاک برسد. اوج فعالیت میکروبی حتی سبب تحریک تجزیه‌ی ماده‌ی آلی اولیه مقاوم پدیده‌ای که اثرات تحریکی^۱ گفته می‌شود، خواهد شد. طی فعالیت‌های مختلف، مواد غذایی دارای سهولت تجزیه به‌زودی به پایان می‌رسند، درحالی‌که تجزیه‌کنندگان سلولز و لگنین به تجزیه کند خود ادامه می‌دهند. اکثر ریزجانداران فرصت طلب دچار گرسنگی و یا نابودی می‌شوند وقتی جمعیت میکروبی افول می‌یابد یاخته‌های زنده یاخته‌های مرده را بلعیده و گاز کربنیک و آب متصاعد می‌سازند. تجزیه یاخته‌های مرده‌ی میکروبی با معدنی شدن یا آزادگشتن تولیدات ساده معدنی مانند نیترات و سولفات همراه است.

وقتی میزان عرضه‌ی مواد غذایی بیشتر کاهش یابد، فعالیت میکروبی به کاهش ادامه داده و باکتری‌های فرصت طلب دارای وظایف عمومی در سکون باقی خواهند ماند. مقدار بسیار کمی از پس‌مانده‌های گیاهی اولیه به‌خصوص ذرات کوچک در داخل منافذ خاک چنان محکم جایگزین شده‌اند که دسترسی ریزجانداران به آن‌ها مشکل بوده و به‌طور فیزیکی از تجزیه محافظت می‌شوند. بعضی از کربن‌های باقیمانده با تبدیل شدن به هموس به‌طور شیمیایی حفاظت می‌شوند. هموس جسم سیاه‌رنگ، غیرهمسان، عمدتاً مخلوط کلوییدی مرکب از لگنین و ترکیبات جدید آلی بازسازی شده می‌باشد که به‌شدت در مقابل تجزیه‌ی بیشتر مقاومت می‌کند. بعضی از هموس‌های ریز با ایجاد پیوند با ذرات رس بیشتر محافظت می‌شوند. بنابراین، درصد اندکی از کربن موجود در بقایای اضافه شده باقی خواهد ماند، که به مقدار کمی منبع ماده‌ی آلی پایدار خاک را افزایش می‌دهد.

تجزیه در خاک‌های غیرهوازی

تجزیه میکروبی در صورت وجود مقادیر کافی گاز اکسیژن به‌سرعت به پیش می‌رود، اکسیژن به‌عنوان دریافت‌کننده‌ی الکترون در طول تجزیه هوازی ترکیبات آلی عمل می‌کند. وقتی منافذ خاک مملو از آب گردند، از انتشار گاز اکسیژن نیوار به‌داخل خاک ممانعت شده و میزان تأمین اکسیژن به آخر می‌رسد. بدون حضور اکسیژن کافی موجودات هوازی نمی‌توانند ایفای نقش کنند. بنابراین موجودات غیرهوازی و یا انتخابی غالب خواهند شد. در شرایط اکسیژن اندک و یا غیرهوازی، تجزیه بسیار کندتر از موقعی است که اکسیژن فراوان است؛ بنابراین، در خاک‌ها دارای شرایط غیرهوازی تمایل بر این است که مقادیر کافی ماده‌ی آلی ناقص تجزیه نشده در خاک تمرکز یابد.

حاصل تجزیه غیرهوازی ترکیبات آلی ناقص اکسیده‌شده‌ی بسیار متنوع مانند اسیدهای آلی، الکل‌ها و گاز متان می‌باشد، تجزیه غیرهوازی انرژی نسبتاً کمتری برای موجودات مربوطه آزاد می‌کند، بنابراین، محصولات نهایی هنوز دارای انرژی زیادی می‌باشند. (به این دلیل الکل و متان می‌توانند به‌صورت سوخت به‌کار روند) بعضی از محصولات تجزیه غیرهوازی به‌خاطر ایجاد بوهای ناخوشایند و یا توقف رشد نبات مورد توجه قرار گرفته‌اند. گاز متان تولید شده در خاک‌های خیس عامل مهمی در اثرات گلخانه‌ای می‌باشد (بخش ۱۲-۱۳). واکنش‌های زیر نمونه واکنش‌هایی است که در خاک‌های خیس به‌وسیله باکتری‌های تولیدکننده متان^۲ انجام می‌شود.



¹ - Primary Effects

² - Methanogenic bacteria

تولید محصولات ساده غیر آلی (معدنی)

هنگامی که پروتیین مورد حمله‌ی میکروب‌ها قرار می‌گیرد، زنجیرهای طولانی اسید آمینه‌ها شکسته شده و اسید آمینه‌های مشخص در محلول خاک همراه با گاز کربنیک حل شده ظاهر می‌شوند. گروه‌های آمید ($R-NH_2$) و سولفید ($R-S$) اسیدهای آمینه اول برای تولید آمونیوم (NH_4^+) و سولفید (S^{2-}) و نهایتاً نیترات‌ها (NO_3^-) و سولفات‌ها (SO_4^{2-}) شکسته می‌شوند. تجزیه مشابهی برای دیگر ترکیبات آلی سبب آزاد شدن این عناصر و یون‌های غذایی غیر آلی خواهد شد. واژه معدنی شدن به کل فرایندی که سبب آزاد شدن عناصری از ماده‌ی آلی برای تولید اشکال غیر آلی (معدنی) گردد اطلاق می‌شود. بیشتر یون‌های غیر آلی آزاد شده به وسیله‌ی معدنی شدن به آسانی برای گیاهان عالی و ریزجانداران قابل استفاده است. تجزیه‌ی بافت‌های آلی منبع مهمی از نیتروژن، گوگرد، فسفر و دیگر عناصر اساسی برای گیاهان می‌باشد.

۳-۱۲ عوامل مهارکننده‌ی میزان تجزیه و معدنی شدن

زمان لازم برای تحقق کامل فرایند تجزیه‌ی مواد آلی و معدنی شدن با توجه به دو مجموعه عوامل گسترده (۱) شرایط محیطی خاک و (۲) کیفیت پس‌مانده‌های گیاهی اضافه شده به خاک، از روزها تا سال‌ها متفاوت است.

شرایط محیطی که سبب تجزیه سریع و معدنی شدن می‌گردند شامل pH نزدیک خنثی، رطوبت کافی، و تهویه خوب خاک (حدود ۶۰ درصد منافذ خاک از آب مملو شده باشد)، و دمای مناسب (۲۵ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد) می‌باشد. این شرایط در بخش ۱۲-۱۱ در ارتباط با فعالیت‌های میکروبی مورد بحث قرار گرفت و در بخش ۱۰-۱۲ در مورد اثرات آنها در تجمع ماده‌ی آلی خاک مجدداً مورد ملاحظه قرار خواهند گرفت. در این جا توجه خود را به عواملی که تعیین‌کننده کیفیت پس‌مانده‌های گیاهی به عنوان منبع غذایی برای ریزجانداران می‌باشد معطوف می‌داریم. این عوامل شامل شرایط فیزیکی پس‌مانده‌های گیاهی، نسبت C/N ، میزان لگنین و پلی‌فنل آنها می‌باشد.

عوامل فیزیکی مؤثر در کیفیت پس‌مانده‌های گیاهی

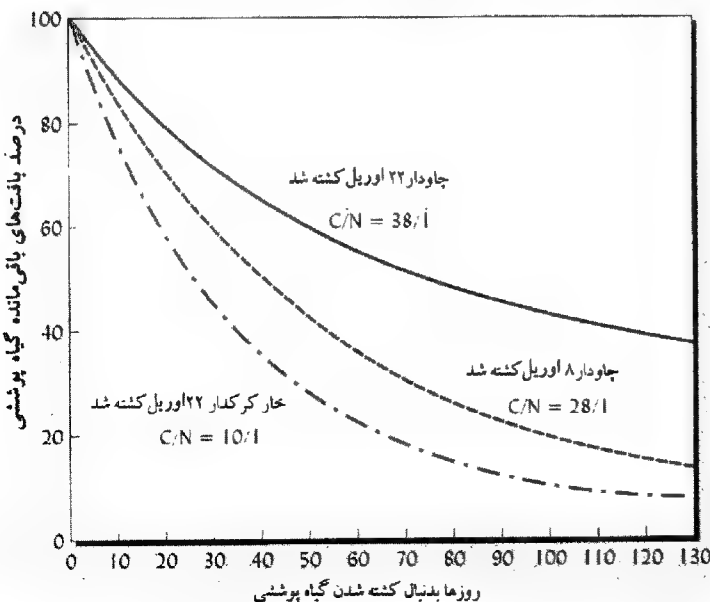
قرار گرفتن پس‌مانده در داخل و یا بر روی خاک یک عامل فیزیکی مهم بوده که دارای اثرات شدیدی بر نرخ تجزیه‌ی پس‌مانده‌های گیاهی می‌باشد، جایگذاری سطحی پس‌مانده‌های گیاهی همانند لاشبرگ جنگلی و یا خاک‌پوش در خاک‌ورزی حفاظتی معمولاً با نرخ کمتر و بسیار متغیر تجزیه در مقایسه با مخلوط کردن پس‌مانده‌های گیاهی مشابه در داخل خاک همراه می‌باشد. پس‌مانده‌های مدفون شده در تماس نزدیک با ریزجانداران خاک بوده و به طور یکنواخت مرطوب می‌باشد، پس‌مانده‌های سطحی از طرف دیگر به طور فیزیکی خارج از دسترس ریزجانداران خاک، به جز ریشه قارچ‌ها و ریزجانداران درشت‌تر خاک، مانند کرم‌های خاکی می‌باشند، بقایای سطحی در معرض خشک شدن و دماهای شدیدند. عناصر غذایی معدنی شده حاصل از پس‌مانده‌های گیاهی سطحی به فرسایش بسیار حساس‌تر از پس‌مانده‌های مدفون شده در خاک می‌باشند. اندازه‌ی پس‌مانده‌های گیاهی عامل مهم فیزیکی دیگر می‌باشد. هرچه ذرات کوچک‌تر باشند، تجزیه سریع‌تر است. ممکن است اندازه ذرات ناشی از سرشت پس‌مانده‌ها (سرشاخه‌ها در مقایسه با شاخه‌ها)، عمل آوردن مکانیکی (آسیاب کردن، قطعه‌قطعه کردن و شخم و شیار) و یا جویدن جامعه‌ی جانوری خاک باشد. ریز نمودن پس‌مانده‌ها در ذرات کوچک از نظر فیزیکی سبب آشکار شدن سطح زیادتری برای تجزیه شده، و همچنین باعث پاره‌گی دیوارهای یاخته‌های لگنینی و پوشش مومی برگ‌ها، و آشکار شدن بافت‌های دارای سهولت تجزیه و محتویات یاخته‌ها گردد.

نسبت کربن به نیتروژن مواد آلی و خاک‌ها

میزان کربن موجود در ماده‌ی خشک گیاهان عالی شاخص در حدود ۴۲ درصد است، (شکل ۲-۱۲ را مشاهده کنید)؛ میزان کربن ماده‌ی آلی خاک معمولاً در فاصله ۴۰ تا ۵۸ درصد* می‌باشد. برعکس میزان نیتروژن پس‌مانده‌های گیاهی بسیار پایین بوده و بسیار متغیر می‌باشد (از کمتر از یک درصد تا بیشتر از ۶ درصد). نسبت کربن به نیتروژن در C/N در پس‌مانده‌های آلی مورد استفاده در خاک‌ها به دودلیل دارای اهمیت می‌باشد: (۱) رقابت شدید بین ریزجانداران برای مصرف نیتروژن قابل استفاده‌ی خاک وقتی پس‌مانده‌های گیاهی افزوده به خاک دارای C/N بالا باشد و (۲) نسبت C/N در پس‌مانده‌های گیاهی شدت تجزیه آنها و میزان نیتروژنی را که برای نبات قابل استفاده می‌گردد، مشخص می‌سازد. نسبت C/N در نباتات و موجودات ذره‌بینی: نسبت C/N در پس‌مانده‌های گیاهی از ۱۰:۱ تا ۳۰:۱ در گیاهان نیام‌دار و برگ‌های جوان تا نسبت ۶۰۰:۱ در بعضی از خاک اره‌ها متغیر است (جدول ۲-۱۲). معمولاً با رسیدن نباتات، نسبت پروتیین در اندام‌ها کاهش یافته،

* - رقم مرسوم در تبدیل مقادیر ماده‌ی آلی خاک ۵۸٪ در ماده‌ی آلی است، گرچه این رقم در هموس بسیار پایدار به خصوص در خاک زیرین صادق است. برای اکثر موارد رقم ۵۰ درصد دقیق‌تر است.

درحالی‌که نسبت لگتین و سلولز و بنابراین نسبت C/N افزایش می‌یابد. همان‌طورکه در منحنی‌های تجزیه در شکل ۴-۱۲ آشکار است، این اختلافات در ترکیب عناصر دارای برجسته‌ای بر نرخ تجزیه هنگام اضافه‌کردن پس‌ماندها به خاک دارند. در بدن و یاخته‌ی ریزجانداران نسبت C/N نه‌تنها از بافت‌های گیاهی کمتر متغیر بوده بلکه بسیار پایین‌تر نیز می‌باشد، و معمولاً در فاصله ۵/۱ تا ۱۰/۱ قرار می‌گیرد. در بین ریزجانداران، باکتری‌ها معمولاً از نظر پروتئین تا حدی غنی‌تر از قارچ‌ها بوده و بنابراین دارای نسبت C/N کمتری می‌باشند.



شکل ۴-۱۲ نرخ تجزیه‌ی پس‌ماندهای گیاهان پوششی مختلف. گیاهان پوششی مختلف در طول زمستان و اول بهار کشت گردیده سپس با یک علف‌کش نابود گردیدند و پس‌ماندها به‌صورت خاک‌پوش در سطح خاک باقی ماندند. ذرت در این خاک‌پوش یدون انجام عملیات خاک‌ورزی قبلی کشت گردید. هرچه نسبت C/N پس‌ماندها پایین‌تر بود فرایند تجزیه آنها سریع‌تر صورت گرفت. توجه داشته باشید که گیاهان نیام‌دار (خلر کرک‌دار) C/N بسیار کمتری از گیاهان چمنی (انواع چاودار) دارند. همچنین توجه داشته باشید که دو هفته تأخیر در کشتن نبات چاودار سبب رسیدن بیشتر گیاه و نسبت C/N بالاتر و میزان تجزیه‌ی آهسته‌تری می‌باشد.

نسبت C/N در خاک‌ها: نسبت C/N در ماده‌ی آلی افق سطحی خاک‌های تحت کشت و کار (Ap) معمولاً از ۱/۱ تا ۱۵/۱ متغیر است، رقم متوسط نزدیک ۱۲:۱ می‌باشد این نسبت در خاک‌های تحت‌الارض خاک‌رخ کمتر از خاک‌های سطحی است. در یک اقلیم آب و هوایی مشخص، تغییرات اندکی در نسبت C/N در خاک‌هایی که دارای مدیریت یکسان می‌باشند وجود دارد. برای مثال، در خاک‌های غنی از کلیم چمن‌زارهای مناطق نیمه‌خشک (مانند مولی‌سول‌ها و آلفی‌سول‌های گرمسیری) نسبت C/N نسبتاً کوچک است. در خاک‌های شدیداً آبخوبی‌شده اسیدی مناطق مرطوب نسبت C/N نسبتاً بالاست. نسبت C/N بالا، تا میزان ۳۰:۱ غیرمعمول نیست. وقتی این خاک‌ها به تحت کشت آمده و برای بالارفتن pH و میزان کلیم در آنها آهک مصرف شود، ترکیب حاصل سبب می‌گردد که نسبت C/N به نزدیک ۱۱/۱ برسد (جدول ۳-۱۲).

تأثیر نسبت کربن به نیتروژن در تجزیه‌ی مواد آلی

میکروب‌های خاک همانند سایر موجودات نیازمند تعادل عناصر غذایی برای ساخت اندام‌های خود و کسب انرژی می‌باشند قسمت اعظم موجودات زنده خاک کربن را هم برای ساخت ترکیبات اساسی آلی و هم کسب انرژی لازمه فرایندهای حیاتی از سوخت‌وساز مواد کربن دار به دست می‌آورند. هرچند هیچ موجود زنده‌ای نمی‌تواند تنها با استفاده از کربن رشد یافته و تکثیر کند. موجودات همچنین باید نیتروژن کافی برای ساختن ترکیبات یاخته‌ای نیتروژن‌دار مانند اسید آمینه‌ها، آنزیم‌ها و DNA به‌دست آورند.

به‌طور متوسط، میکروب‌های خاک برای هر اتم نیتروژن ۸ اتم کربن جهت تبدیل به یاخته‌های خود مصرف کنند (میکروب‌ها دارای نسبت C/N ۸ می‌باشند) به دلیل این‌که فقط حدود ۱/۳ کربن لازم برای سوخت‌وساز میکروبی و یاخته‌های آنها تبدیل می‌شود (کربن به‌صورت گاز کربنیک در بازدم و تنفس هدر می‌رود) میکروب‌ها نیاز دارند که حدود ۲۴ قسمت کربن برای هر قسمت نیتروژن مورد استفاده در ساخت اندام‌های خود مصرف کنند (نسبت کربن به نیتروژن غذای مورد استفاده آنها ۲۴/۱ باشد).

این پیش‌نیاز منجر به دو پیامد عملی فوق‌العاده مهم خواهد شد: (۱) اگر نسبت C/N ماده‌ی آلی اضافه‌شده به خاک حدوداً از ۲۵/۱ تجاوز کند، میکروب‌های خاک برای به‌دست‌آوردن نیتروژن کافی محلول خاک را زیرورو خواهند کرد. بنابراین افزودن پس‌ماندهای گیاهی

با نسبت C/N بالا میزان نیروژن قابل‌عرضه‌ی محلول خاک را تخلیه کرده و باعث خواهد شد که گیاهان عالی با کمبود نیتروژن مواجه شوند. (۲) تجزیه‌ی مواد آلی در صورت نبود نیتروژن کافی برای حمایت رشد میکروبی در مواد مورد تجزیه و در محلول خاک کاهش خواهد یافت. این مسأله در مثال شکل ۵-۱۲ تشریح شده است.

جدول ۲-۱۲ میزان کربن و نیتروژن شاخص موجود و نسبت C/N در بعضی مواد آلی که به طور معمول در خاک وجود دارند.

C/N	درصد ازل	درصد کربن	ماده اصلی	C/N	درصد ازل	درصد کربن	ماده اصلی
۱۱	۳/۵	۴۰	خلر پوشش زمستانه	۶۰۰	۰/۵۰	۵۰	خاک اره کاج نونل
۷	۴/۵	۳۱	لجن فاضلاب شهری هضم شده	۴۰۰	۰/۱	۴۶	خاک اره سخت چوبیان
موجودات خاک				۸۰	۰/۵	۳۸	کاه وکلش گندم
				۶۱	۰/۹	۵۴	لجن کارخانه کاغذسازی
۵	۱۰	۵۰	باکتری ها	۵۷	۰/۷	۴۰	کلش ذرت
۶	۸/۵	۵۰	اکتینومیسیت	۵۰	۰/۸	۴۰	قطعات نیشکر
۱۰	۵	۵۰	قارچ ها	۳۷	۱/۱	۴۰	چاودار پوشش زمستانه گلدھی
ماده ی آلی خاک				۳۱	۱/۳	۴۰	بلو گراس کود خورده
				۲۶	۱/۵	۴۰	چاودار پوشش زمستانه مرحله ی رویشی
۹۰	۰/۵	۵۰	افق O اسپدوسول	۲۵	۱/۸	۴۰	یونجه خشک شده رسیده
۲۵	۲	۵۰	لاشبرگ درختان همیشه سبز گرمسیری	۲۰	۱/۲	۴۱	کود دامی پوسیده
۱۱	۴/۹	۵۶	افق Ap مولی سول	۱۶	۱/۴	۴۰	کمپوست خانگی کامل
۲۳	۲/۳	۵۲	افق Ap اولتی سول	۱۳	۳	۴۰	علف جوان یونجه
۹	۵/۱	۴۶	افق B متوسط				

مثال‌های از آزادشدن نیتروژن معدنی در طول تجزیه

اهمیت عملی نسبت C/N وقتی آشکار می‌شود که ما تغییراتی را که با افزودن پس‌مانده‌های گیاهی دارای C/N زیاد و یا کم به خاک صورت می‌گیرد باهم مقایسه کنیم (شکل ۶-۱۲ مشاهده کنید). خاکی را با میزان نیتروژن محلول (عمدتاً نیترات) متوسط در نظر بگیرید، موجودات تجزیه‌کننده عمومی در این خاک با توجه به میزان اندک گازکربنیک تولیدشده دارای فعالیت پایین می‌باشند، اگر گیاه از نیتروژن استفاده نکند میزان نیترات‌ها با تجزیه‌ی مواد آلی بومی خاک به آهستگی افزایش می‌یابد.

مواد آلی دارای نیتروژن کم: حال با فرض اضافه شدن مقدار زیادی ماده‌ی آلی به این خاک چه اتفاقی می‌افتد. اگر این پسماندهای گیاهی دارای نسبت C/N بیشتر از ۲۵ باشد، تغییراتی مطابق شیوه‌ای که در شکل ۶-۱۲ الف نشان داده شده است صورت می‌گیرد. در مثال نشان داده شده، نسبت اولیه C/N گیاهی حدود ۵۵، همانند ساقه‌ی ذرت و یا بسیاری از لاشبرگ‌ها می‌باشد، به محض این که پسماندهای گیاهی با خاک تماس پیدا کنند، جامعه میکروبی به غذای ارائه شده جدید عکس العمل نشان می‌دهد (بخش ۲-۱۲ را مشاهده کنید). موجودات ناخودپرور فرصت طلب فعال گردیده، به سرعت افزایش یافته و سبب ایجاد گازکربنیک به میزان زیاد می‌گردند. به خاطر تقاضای میکروبی برای نیتروژن، نیتروژن معدنی NH_4^+ و یا NO_3^- قابل استفاده برای گیاهان آلی در طول این مدت یا وجود نداشته و یا بسیار اندک است.

کاهش نیترات : این شرایط، که اغلب به دوره‌ی کسادی نیترات خاک معروف است، تا مادامی که فعالیت موجودات تجزیه‌کننده به دلیل نبود کربن قابل اکسایش فروکش نکند ادامه دارد. پس از فروکش کردن فعالیت، تعداد میکروب‌ها کاهش یافته، تشکیل گاز کربنیک کمتر شده و نیاز نیتروژن میکروب‌ها کمتر حاد می‌گردد. با پیشرفت تجزیه، میزان C/N پس‌مانده مواد گیاهی به خاطر تمام‌شدن کربن (در عمل تنفس) کاهش می‌یابد و نیتروژن (با واردشدن در یاخته‌های میکروب) ذخیره می‌شود. معمولاً وقتی که نسبت C/N مواد پس‌مانده گیاهی به زیر ۲۰:۱

برسد می‌توان انتظار آزادشدن نیتروژن را داشت، در آن صورت مقدار نیتروژن بالا رفته و شرایط اولیه حاکم خواهد شد با این تفاوت که خاک از نظر نیتروژن و هموس مقداری غنی‌تر خواهد شد.

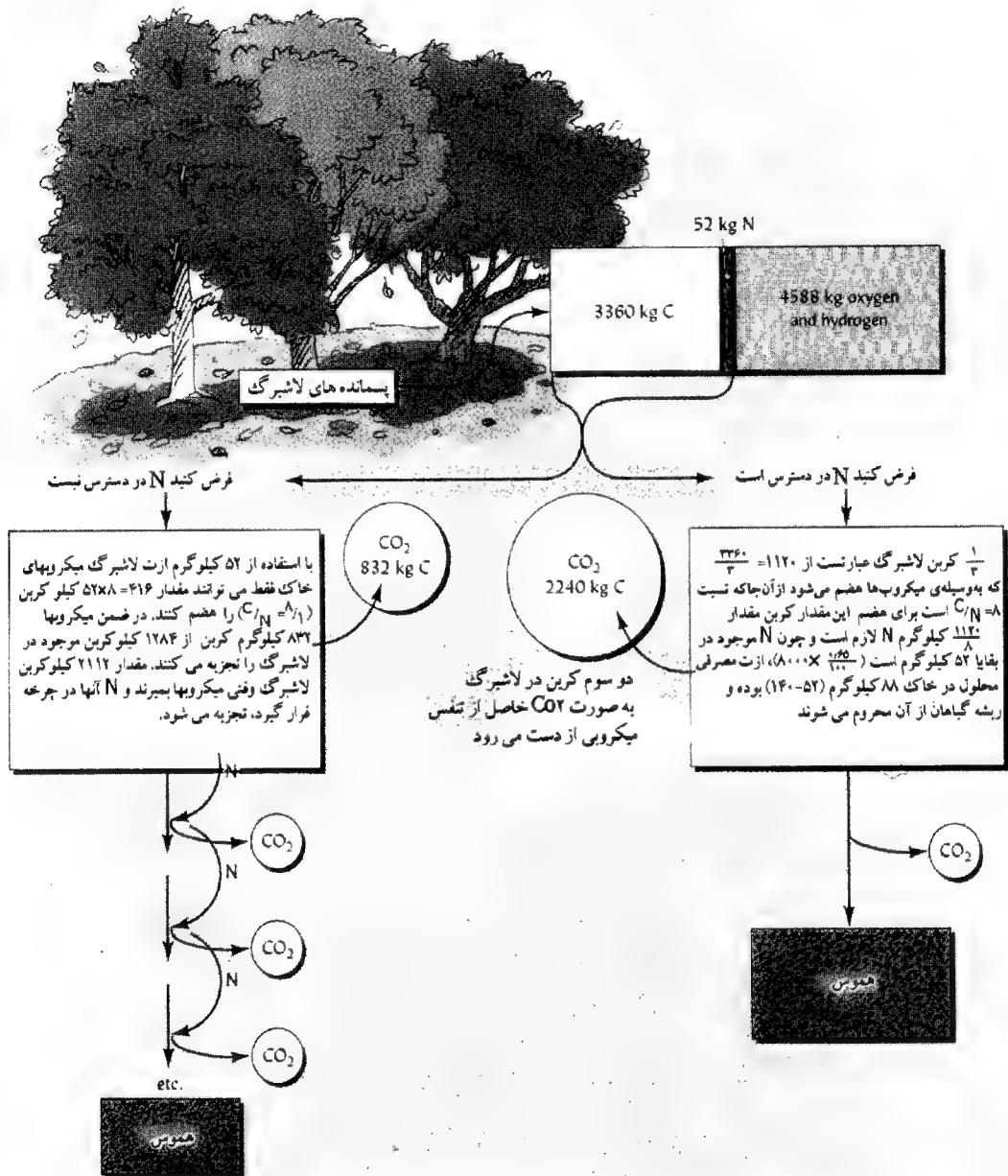
جدول ۳-۱۲ درصد کربن و نیتروژن آلی و نسبت کربن به نیتروژن در خاک سطحی (افق A) و خاک تحت‌الارض (افق B) در التی سول‌ها و مولی سول‌ها: با این استثنا که التی سول‌ها تحت پوشش جنگلی و مولی سول‌ها در زیر پوشش چمنزار بودند. در تمام موارد خاک تحت‌الارض دارای ماده‌ی آلی کمتری از خاک سطحی و به‌طور کلی دارای نسبت C/N کمتر بود. در خاک‌های سطحی التی سول نسبت کربن به نیتروژن معمولاً نزدیک ۲۰:۱ بود مگر خاک شخم‌خورده و یا در آن آهک مصرف شده بود. نسبت کربن به نیتروژن ۱۲:۱ معرف اکثر خاک‌های سطحی غیرجنگلی است.

موقعیت		گروه بزرگ خاص		کربن آلی		نیتروژن		نسبت C/N	
افق A				افق B		افق A		افق B	
التی سول‌ها									
جورجیا	آلبا آکولت	Albaaquults	۲/۲	۰/۵۴	۰/۰۹۵	۰/۰۶	۲۳	۹	
پورتوریکو	پلیتا آکولت	Plinthaquults	۳/۲۵	۰/۷۴	۰/۲۵	۰/۰۷	۱۳a	۱۰	
کالیفرنیا	هابلو همولت	Haplohumults	۶/۶۹	۲/۱۶	۰/۲۶	۰/۱۰۳	۲۶	۲۱	
ویرجینیا	هابلو ادولت	Hapludults	۳/۴	۰/۷۱	۰/۱۲۷	۰/۰۵۶	۲۷	۱۳	
تنسی	ردو ادولت	Rhodudults	۳/۳۶	۰/۴۴	۰/۲۰۷	۰/۰۵۷	۱۶	۸	
پورتوریکو	تروپو ادولت	Tropodults	۲/۴	۰/۳۸	۰/۲۰۵	۰/۰۴۴	۱۲	۹	
پورتوریکو	هابلو استولت	Haploustults	۱/۶۴	۰/۴۹	۰/۱۴۹	۰/۰۵۳	۱۱	۹	
کارولینای شمالی	امبرا کولت	Umbraquults	۵/۳	۰/۴۲	۰/۱۹۹	۰/۰۵۱	۲۷	۸	
کالیفرنیا	هابلو زرولت	Haploxerults	۴/۲۲	۰/۷۵	۰/۱۴	۰/۰۴۱	۳۰	۱۸	
مریلند	فراجی ادولت	Fragiudults	۳/۵۸	۰/۳۵	۰/۱۲۴	۰/۰۴۱	۲۹	۹	
مولی سول‌ها									
کانزاس	ارجی استول	Argiustolls	۱/۱۷	۰/۵۴	۰/۵۴	۰/۱۱۸	۱۰a	۸	
مونتانا	ارجی بورل	Argiborolls	۲/۰۶	۰/۷۴	۰/۷۴	۰/۱۹۲	۱۱	۱۰	
نبراسکا	ارجی استول	Argiustolls	۲/۵۴	۰/۷۵	۰/۲۰۲	۰/۰۸۱	۱۳	۹	
کانزاس	ارجی استول	Argiustolls	۴/۳۵	۲/۳	۰/۳۱۸	۰/۱۷۸	۱۴	۱۳	
داکوتای شمالی	ناتری بورول	Natriborolls	۲/۷۱	۱/۰۹	۰/۱۹۹	۰/۰۸۶	۱۴a	۱۳	
ایوا	هاپلا کول	Haplaaquolls	۴/۲	۰/۴۱	۰/۳۲۵	۰/۰۴۶	۱۳a	۹	
ایلی‌نوی	هاپلا کول	Haplaaquolls	۱/۵۱	۰/۹۴	۰/۱۳۵	۰/۰۸۸	۱۱a	۱۱	
ایوا	هاپلا ادول	Haplaudolls	۲/۸۶	۰/۴۹	۰/۲۴۷	۰/۰۵۷	۱۲	۱۸	
یوتا	کالی زرول	Calcixerolls	۳/۶۹	۲/۰۷	۰/۲۹۱	۰/۱۷۷	۱۳	۱۲	
ایوا	ارجی اکول	Argiaquolls	۲/۷۸	۰/۹۲	۰/۱۸۸	۰/۰۷۸	۱۵a	۱۲	

a این اطلاعات برای افق‌های Ap در خاک‌های زراعی است

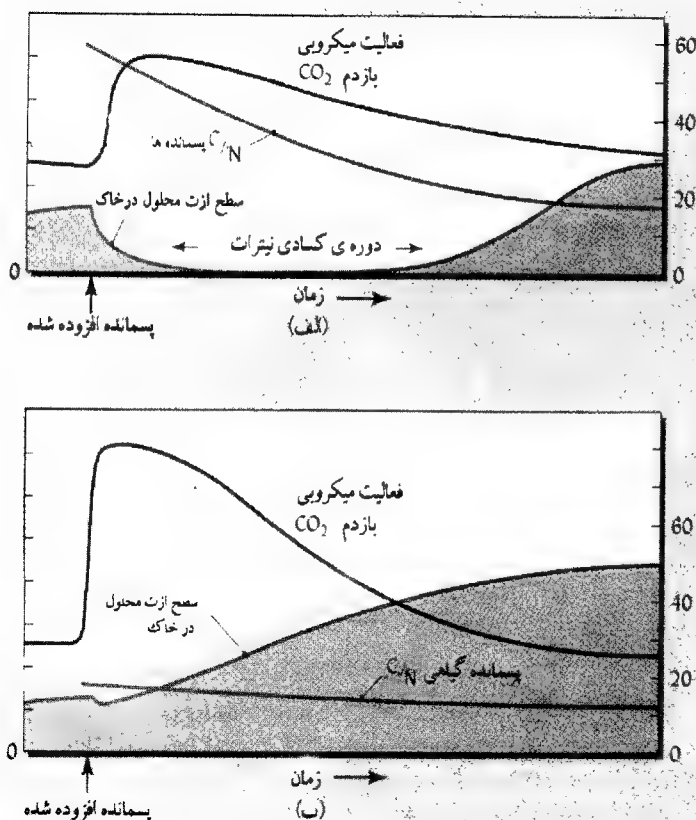
ممکن است دوره‌ی کسادی نترات برای چند روز، چند هفته و یا حتی چندین ماه تداوم داشته‌باشد. وقتی پس‌مانده‌های گیاهی اضافه‌شده دارای نسبت C/N زیاده‌تر، سهولت تجزیه بیشتر، و به‌میزان فراوان‌تری باشند، این دوره کسادی مشخصاً طولانی‌تر و شدیدتر است. برای جلوگیری از تولید گیاهچه‌های دارای رنگ‌پریده لکه‌لکه دارای فقر نیتروژن، کشت باید تا سرآمدن دوره‌ی کسادی نترات خاک به تأخیر افتد، و یا منابع اضافی نیتروژن (مثلاً کود شیمیایی) برای برآورد نیازهای غذایی هم ریزجانداران و هم گیاهان آلی مورد استفاده قرار گیرد.

پسمانده های لاشیرنگ با ۸۰۰۰ کیلوگرم در هکتار وزن خشکی و دارای ۴۰ درصد کربن و ۶۳٪ درصد نیتروژن به خاک افزوده شده است که مقادیر C و N و سایر عناصر را مشخص می سازد نسبت C/N عبارتست از $\frac{41}{105}$ یا ۰/۳۹



شکل ۵-۱۲ یک مثال ساده کمی از تجزیه پس‌ماندهای گیاهی که سرنوشت کربن و نیتروژن و پیامدهای تجزیه و قابلیت استفاده نیتروژن خاک را تشریح می‌کند توجه کنید که اگر عرضه‌ی نیتروژن کافی فراهم باشد توان تشکیل هموس افزایش خواهد یافت.

مواد آلی دارای نیتروژن زیاد: اثر پس ماند‌های اضافه شده دارای نسبت C/N کوچک تر از ۲۰:۱ بر روی میزان نیترات خاک همان‌طور که در شکل ۶-۱۲ ب آمده است، بسیار متفاوت خواهد بود. در صورت وجود مواد آلی دارای نسبت C/N پایین، نیتروژن بیش از نیاز برای رفع نیازهای جانوران تجزیه کننده وجود خواهد داشت، بنابراین، به زودی بعد از این که تجزیه آغاز گردد مقداری از نیتروژن ترکیبات آلی به داخل محلول خاک آزاد شد. و میزان نیتروژن محلول قابل جذب گیاهی را بالا خواهد برد. معمولاً مواد آلی غنی از نیتروژن با سرعت تمام تجزیه شده، دوره‌ای با رشد و فعالیت شدید میکروبی را به دنبال داشته، اما دوره کساد نیتروژن را دیگر نخواهد داشت.



شکل ۱۲-۶ تغییرات در فعالیت میکروبی، میزان نیتروژن محلول، و نسبت C/N به دنبال اضافه کردن (الف) مواد آلی با نسبت C/N بالا و یا (ب) C/N پایین، وقتی نسبت C/N اضافه شده پس‌مانده‌ها بالاتر از ۲۵ باشد بایستی میکروب‌هایی که پس‌مانده‌های گیاهی را هضم می‌کنند میزان کمبود نیتروژن موجود در کلس را نیتروژن خاک جبران کنند در طول دوره کسادی نیترات، رقابت بین گیاهان عالی و میکروب‌ها چنان شدید خواهد بود که سبب بروز کمبود نیتروژن در گیاه خواهد شد. توجه داشته باشید در هر دو مورد نیتروژن محلول نهایتاً در خاک با انجام تجزیه‌ی گیاهی از میزان اولیه‌ی خود افزایش می‌یابد. شیوه‌ای که نشان داده شده است برای خاک‌هایی است که دارای گیاه درحال رشد نمی‌باشند. در صورت وجود گیاهان نیتروژن محلول را به محض آزاد شدن جذب می‌کنند.

تأثیر میزان لگنین و پلی فنل مواد آلی

میزان لگنین لاشبرگ گیاهان از کمتر از ۲ درصد تا بیشتر از ۵۰ درصد متغیر است، موادی که دارای لگنین زیادند با کندی زیاد تجزیه می‌شوند. ممکن است ترکیبات پلی فنل موجود در لاشبرگ گیاهی تجزیه را محدود کنند. این ترکیبات فنلی اغلب محلول در آب بوده و ممکن است در غلظت‌هایی به میزان ۵ تا ۱۰ درصد وزن خشک نبات حضور داشته باشند. این ترکیبات فنلی با تشکیل ترکیبات فوق‌العاده مقاوم با پروتئین در هنگام تجزیه‌ی پس‌مانده‌های گیاهی، می‌توانند به طرز چشم‌گیری هم نرخ معدنی شدن نیتروژن و هم اکسایش کربن را کند کنند. کیفیت لاشبرگ گیاهی: به دلیل این‌که بقایای دارای فنول و/یا لگنین زیاد سبب فعالیت اندک میکروبی و تولید زیتوده پایین می‌شوند، آنها به عنوان منابع دارای کیفیت پایین برای جانداران خاک، که کربن و عناصر غذایی را در چرخه قرار می‌دهند به حساب می‌آیند. ممکن است تولید چنین پس‌مانده‌های گیاهی دارای سرعت تجزیه پایین در بعضی درختان جنگلی علت تراکم فوق‌العاده زیاد نیتروژن و کربن هموسی شده را در خاک‌های جنگل‌های بالغ سردسیری توضیح دهد (شکل ۱۲-۷).

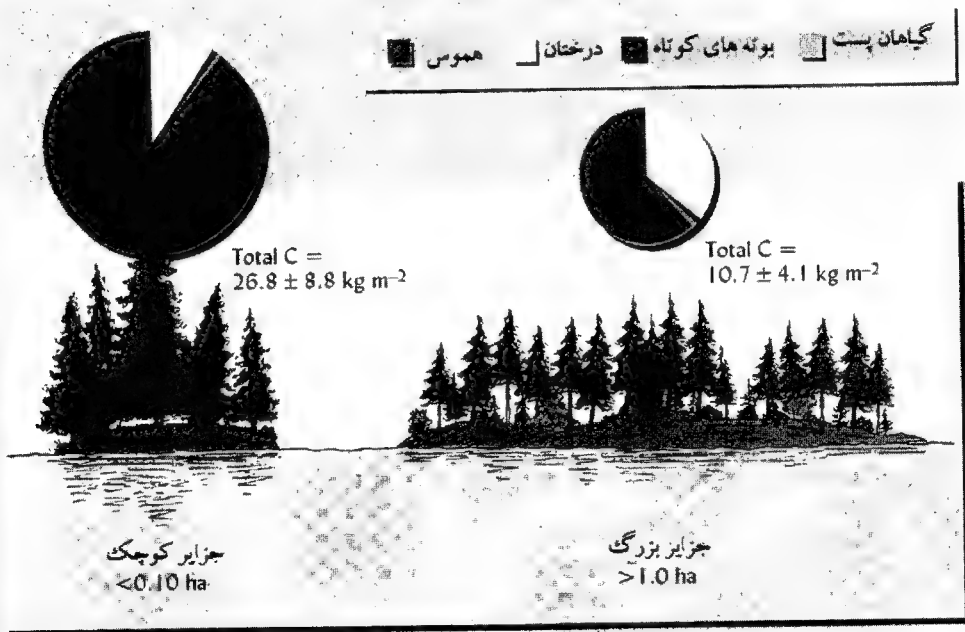
میزان لگنین و فنول در تجزیه و آزاد شدن نیتروژن در کودهای سبز یعنی پس‌مانده‌های گیاهی که برای غنی‌ساختن خاک‌های کشاورزی به کار می‌روند، مؤثر است (جدول ۴-۱۲). برای مثال در برگ‌های برخی درختان خاص نیام‌دار، نسبت C/N بسیار کم است اما میزان فنل کاملاً بالاست بنابراین، وقتی این برگ‌ها به خاک اضافه می‌شوند نیتروژن به کندی آزاد می‌شود، اغلب چنان‌که که با نیازهای گیاهان زراعی مطابقت ندارد. به همین نحو پس‌مانده‌ها با لگنین بیشتر از ۲۰ تا ۲۵ درصد با کندی زیاد تجزیه می‌شوند تا بتواند کودسبز مؤثری برای گیاهان زراعی یک‌ساله سریع‌الرشد باشد. آزاد شدن نیتروژن از بقایای کود سبز در درازمدت ممکن است به علت کمتر هدررفتن نیتروژن مزیت باشد. با همین استدلال، تجزیه‌ی کند مواد غنی از فنل یا لگنین به این معنی است که حتی اگر نسبت C/N نیز خیلی زیاد باشد، کاهش نیترات خیلی مشخص نخواهد بود.

شکل ۸-۱۲ اثر مرکب C/N و میزان لگنین و یا فنل را در تعادل، عدم تحرک و معدنی شدن نیتروژن طی تجزیه پس‌مانده‌های گیاهی تشریح می‌کند.

جدول ۴-۱۲ کیفیت لاشبرگ گیاهی در ارتباط با میزان لگنین، پلی‌فنل، و نسبت C/N در چند نوع پس‌مانده‌های گیاهی: مواد هرس‌شده (برگ‌ها و سرشاخه‌های کوچک) از سه گونه درختی جنگلی-زراعی معمول و پس‌مانده‌های پس از برداشت ۲ محصول غله‌ای با میزان ۵ تن در هکتار در خاک اکسیک پالودولت^۱ در یک منطقه مرطوب گرمسیر نیجریه به زمین داده شد. نسبت‌های پایین C/N ، لگنین و پلی‌فنل سبب ایجاد لاشبرگ دارای کیفیت خوب و سرعت تجزیه زیاد گردید. اثر محدودکننده‌ی میزان پلی‌فنل را می‌توان با مقایسه جنس گلرسیدا^۲ با لوکانا^۳ ملاحظه کرد.

گونه گیاهی	بخش گیاهی	درصد لگنین	درصد پلی‌فنل	C/N	ثابت تجزیه هفته /K $* Y = e^{-Kt}$	کیفیت لاشبرگ
<i>Gliricida sepium</i>	هرس	۱۲	۱/۶	۱۳	۰/۲۵۵	بالا
<i>Leucaena leucocephala</i>	هرس	۱۳	۵	۱۲	۰/۱۶۶	بالا-متوسط
<i>Oryza sativa</i>	کاه	۵	۰/۶	۴۲	۰/۱۲۴	متوسط
<i>Zea mays</i>	ساقه	۷	۰/۶	۴۳	۰/۱۱۸	متوسط
<i>Dactyladenia barteri</i>	هرس	۴۷	۴/۱	۲۸	۰/۰۱۱	کم

* از هر نوع پس‌مانده که در طول هر ۱۴ هفته تجزیه می‌شد، دانشمندان به طور متناوب نسبت Y ماده‌ی خشک اولیه باقیمانده را تعیین می‌کردند نرخ تجزیه از رابطه‌ی $Y = e^{-Kt}$ تعیین می‌شود. e پایه لگاریتم طبیعی و t زمان برحسب هفته است. هرچه ثابت تجزیه K بیشتر شود تجزیه سریع‌تر است.

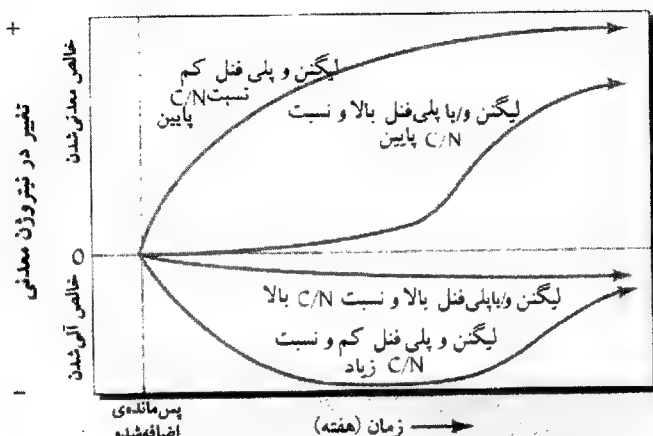


شکل ۱۲-۱۳ اثر کیفیت لاشبرگ گیاهی در تراکم هموس در خاک در مطالعه ۵۰ جزیره جنگلی دور از سواحل سوند. محققین دریافته‌اند که فراوانی آتش‌سوزی‌های جنگلی ناشی از رعدوبرق با افزایش سطح جزیره افزایش یافت، بنابراین، جزایر هرچه کوچک‌تر باشند (چپ) جنگل‌های بالغ سرو که طی قرن‌ها دست‌نخورده باقی مانده بودند غالب می‌باشند، درحالی که اکثر جنگل‌ها در جزایر بزرگ‌تر در مراحل اولیه تجدیدحیات از آتش‌سوزی‌های قبلی قرار داشتند. گونه‌های درختی فرا بالغ غالب در جنگل‌های سردسیری تولید لاشبرگ با لگنین و فنل بالاتری نسبت به گونه‌هایی نمودند که در مراحل اولیه توالی آتش‌سوزی و سایر عوامل پرهم‌زننده قرار داشتند. پوشش دارای کیفیت پایین در جزیره‌های کوچک سبب ایجاد هم‌تافت‌های فنل پروتیین با میزان آزادسازی بسیار پایین نیتروژن و کربن گردید، درنتیجه توان تولید تا حدی در جزایر کوچک در این مطالعه کاهش یافت، اما نسبت کربن بوم‌سامان ذخیره‌شده در هموس خاک و میزان کل کربن هموس در هکتار در جزایر کوچک بسیار بالاتر بود. مساحت هر قطعه از دایره در ارتباط با کل کربن در مترمربع می‌باشد.

^۱ - Oxie Paleudults

^۲ - Gliricida

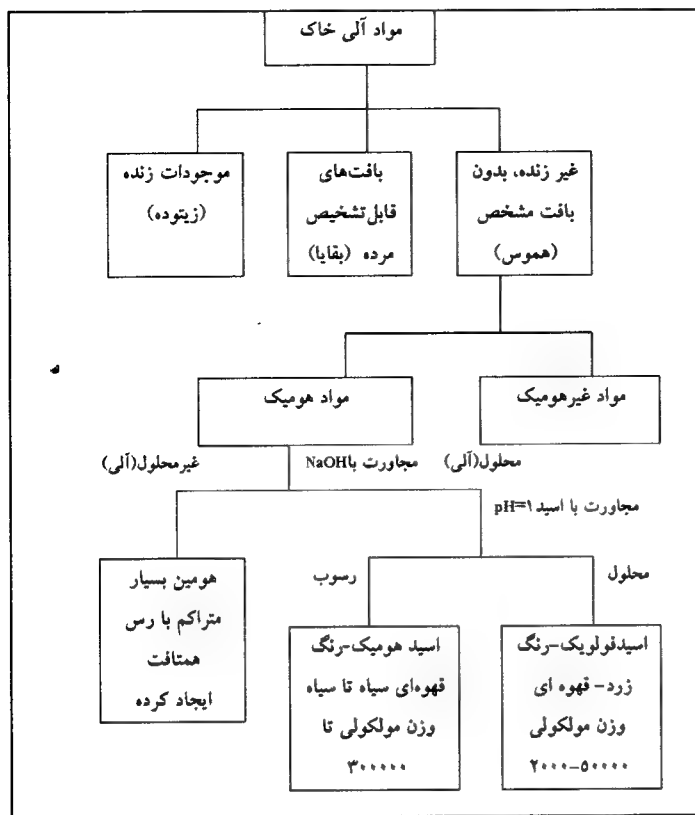
^۳ - Leucaena



شکل ۸-۱۲ شیوه‌های آزاد شدن نیتروژن از بقایای آلی متفاوت از نظر کیفیت براساس نسبت C/N ، میزان لگنین و پلی فنل آنها طی زمان. میزان لگنین بیشتر از ۱۵ درصد، پلی فنل بیش از ۴ درصد و نسبت C/N بیشتر از ۳۰ درصد همگی در این شکل میزان بالا تلقی می‌شوند. ترکیب این خصوصیات یک لاشبرگ با کیفیت پایین را می‌سازد که دارای توان محدودی برای تجزیه میکروبی و معدنی شدن عناصر غذایی می‌باشد.

۱۲-۴ هموس: پیدایش و سرشت

واژه‌ی عمومی ماده‌ی آلی که تمام اجزاء آلی خاک را دربرمی‌گیرد شامل: (۱) زیتوده زنده (باقات‌های دست‌نخورده حیوانات و ریزجانداران) (۲) ریشه مرده و سایر پس‌مانده‌های قابل تشخیص و (۳) مخلوطی از مواد پیچیده آلی عمدتاً بی‌شکل کلوییدی که دیگر به صورت اندام گیاهی قابل تشخیص نمی‌باشد. فقط دسته‌ی سوم ماده‌ی آلی اختصاصاً هموس نامیده می‌شوند. (شکل ۹-۱۲ را مشاهده کنید).

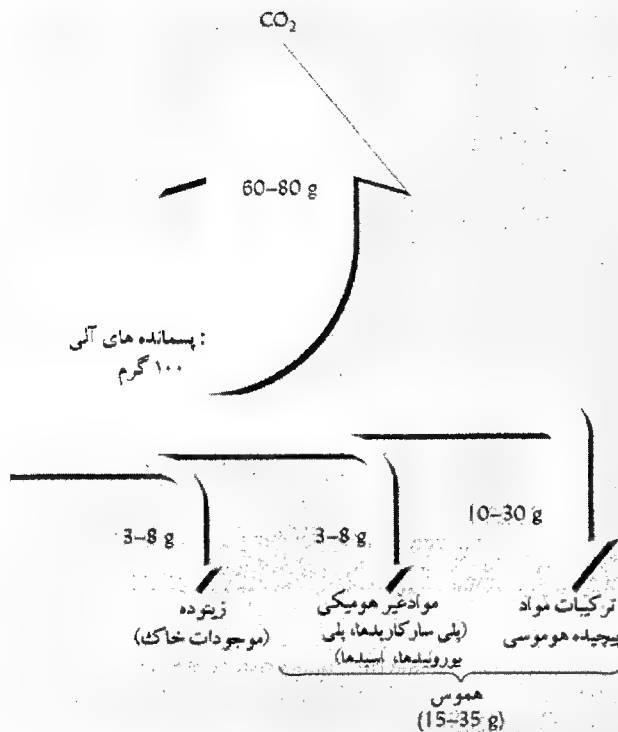


شکل ۹-۱۲ طبقه‌بندی اجزای ماده‌ی آلی که با روش‌های شیمیایی و فیزیکی قابل جدا شدن می‌باشند گرچه پس‌مانده‌های گیاهی لاشبرگ به‌طور جهانی به عنوان بخشی از ماده‌ی آلی به حساب نمی‌آید، آنها در این شکل منظور شده‌اند زیرا جزء اصلی افق O در خاک‌رخ می‌باشند. قابلیت انحلال در محلولهای بازی و اسیدی معیاری است که به طور گسترده برای گروه‌بندی بخش‌های مختلف هموس خاک به کار می‌رود. طرح کلاسیک که مواد هومیکی را به هومین، اسید فولویک و اسید هومیک تقسیم‌بندی می‌کند (در بخش پایین جدول نشان داده شده است)، بر اساس عدم حلالت آنها در سود سوزآور (هومین) و حلالت بعدی آنها (اسید فولویک) و یا عدم حلالت بعدی آنها (اسید هومیک) در محلولهای اسیدی با pH یک می‌باشد.

تغییر شکل به‌وسیله‌ی میکروب‌ها

با پیشرفت تجزیه پس‌مانده‌های گیاهی، میکروب‌ها به آهستگی ترکیبات پیچیده را به ترکیبات ساده‌تر تجزیه می‌کنند. در این فرایند بخشی از لگنین به ترکیبات فنلی تجزیه می‌شود. سپس میکروب‌های خاک، ترکیبات ساده را در سوخت‌وساز مصرف می‌کنند. بخشی از کربن که به صورت گاز کربنیک در فرایند تنفس مصرف نشده است، همراه با اکثر نیتروژن، گوگرد و اکسیژن این ترکیبات برای بازساختن اجزای جدید باخته‌ای و مولکول‌های زیستی به‌وسیله‌ی میکروب‌ها مصرف می‌گردند. بخشی از لگنین اصلی به‌طور کامل تجزیه نشده اما

تغییر یافته و مولکول‌های پیچیده را تشکیل می‌دهد که بسیاری از خصوصیات لگنین را دارا می‌باشد. میکروب‌ها بعضی از ترکیبات جدید ساده و محصولات حاصل از تجزیه را به همدیگر متصل (پلی‌مریزه) نموده و زنجیرهای طولیل پیچیده‌ای را ایجاد می‌کنند که در مقابل تجزیه بیشتر مقاوم می‌باشند. این ترکیبات دارای وزن مولکولی بالا با ترکیبات اسید آمینه دارای نیتروژن در تعامل قرار گرفته و بخش عمده‌ای از مواد مقاوم هموس را تشکیل می‌دهد. تشکیل این پلی‌مرها در حضور رس‌های کلوییدی تقویت می‌شود. این ترکیبات پلی‌مری مقاوم پیچیده، تا حدی نامشخص، ترکیبات هومیکی^۱ نامیده می‌شوند. مولکول‌های زیستی قابل تشخیص دارای مقاومت کمتر، که به وسیله‌ی فعالیت میکروب‌ها ایجاد می‌گردند، به‌طور دسته‌جمعی مواد غیرهومیکی^۲ نامیده می‌شوند. یک‌سال پس از اضافه‌کردن پس‌مانده‌های گیاهی به خاک قسمت اعظم کربن به‌صورت گاز کربنیک به نیوار بازگشته است اما $\frac{1}{5}$ تا $\frac{1}{4}$ آن به‌صورت زیتوده (حدوده درصد)، و یا بخش‌های هومیکی (حدود ۲۰ درصد) و غیرهومیکی (حدود ۵ درصد) در خاک باقی می‌مانند (شکل ۱۰-۱۲). بخشی از پس‌مانده‌های گیاهی که در ریشه باقی می‌ماند دارای نسبت‌های بیشتری از مواد فوق‌الذکر در لاشبرگ مخلوط شده با خاک می‌باشد.



شکل ۱۰-۱۲ جابه‌جایی ۱۰۰ گرم پس‌مانده‌های آلی یک‌سال پس از مخلوط کردن آنها با خاک. بیشتر از $\frac{2}{3}$ کربن به گاز کربنیک اکسیده شده و کمتر از $\frac{1}{3}$ در خاک باقی مانده است. که بخشی از آن در یاخته جانداران جای گرفته است. بخش بزرگ‌تر آن به‌صورت هموس خاک می‌باشد، مقدار تبدیل شده به گاز کربنیک معمولاً در بقایای سطحی (لاشبرگ) بیشتر از پس‌مانده‌های زیرزمینی (ریشه) می‌باشد.

مواد هومیکی

مواد هومیکی، شامل حدود ۸۰-۶۰ درصد ماده‌ی آلی خاک می‌باشند آنها از مولکول‌های عظیم با ساختمان و ترکیب متغیر نه مشخص تشکیل شده‌اند. مواد هومیکی به‌وسیله‌ی مواد معطر با ساختمان حلقوی مشخص می‌شوند که پلی‌فنل‌ها^۳ (ترکیبات متعدد فنلی که با همدیگر اتصال یافته‌اند) و پلی‌کونین‌ها^۴ با پیچیدگی بیشتر را شامل می‌باشند. مواد هومیکی معمولاً دارای رنگ تیره و بی‌شکل بوده و وزن مولکولی آنها در فاصله ۳۰۰۰۰-۲۰۰۰ گرم در مول متغیر می‌باشد. به‌دلیل پیچیدگی، آنها مقاوم‌ترین ماده‌ی آلی در مقابل حمله میکروبی می‌باشند. گروه‌بندی حلالیت: از نظر تاریخی مواد هومیکی براساس حلالیت، در سه گروه شیمیایی طبقه‌بندی می‌شوند (شکل ۹-۱۲)، که عبارتند از: (۱) اسیدفولویک^۵ با پایین‌ترین وزن مولکولی، دارای رنگ روشن، محلول در اسید و باز و بسیار حساس به حمله‌ی میکروبی، (۲) اسیدهومیک^۶

^۱ - Humic substances

^۲ - Non humic substances

^۳ - Polyphenols

^۴ - Polyquinones

^۵ - Fulvic acid

^۶ - Humic acid

با وزن مولکولی و رنگ متوسط محلول در باز اما غیرمحلول در اسید و با مقاومت متوسط در مقابل تجزیه (۳) هومین با بالاترین وزن مولکولی، تیره‌ترین رنگ، غیرمحلول در اسید و باز و بسیار مقاوم به حمله میکروبی می‌باشند. متأسفانه، ثابت شده است که این طبقه‌بندی از نظر بوم‌شناسی کاربرد محدودی دارد.

هرسه گروه از مواد هومیکی در خاک‌ها نسبتاً پایدار می‌باشند. حتی اسیدفولویک که به آسانی قابل تجزیه است در مقابل حمله میکروبی مقاوم‌تر از اکثر پس‌مانده‌های گیاهی تازه افزوده به خاک است. بسته به شرایط محیط نیمه‌ی عمر (زمانی که برای از بین رفتن نصف یک ماده لازم است) در اسید فلوویک ممکن است ۱۰-۵ سال باشد در صورتی که نیمه عمر اسید هومیک معمولاً برحسب قرن بیان می‌شود.

مواد غیرهومیکی

حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد هموس شامل مواد غیرهومیکی می‌باشد. این مواد دارای پیچیدگی کمتر بوده و در مقابل حمله میکروبی مقاومت کمتری از مواد هومیکی نشان می‌دهند. برخلاف مواد هومیکی، آن‌ها از مولکول‌های زیستی خاص با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی معینی تشکیل شده‌اند. بعضی از این مواد غیرهومیکی شامل ترکیبات گیاهی تغییر یافته به وسیله میکروب‌ها بوده، درحالی‌که بقیه ترکیبات بازسازی شده حاصل از تجزیه به وسیله میکروب‌ها می‌باشند.

در میان مواد غیرهومیکی پلی‌ساکاریدها که پلی‌مرهایی با ساختمان شبیه شکر و فرمول کلی $C_n(H_2O)_m$ با n و m متغیر، که از نظر بالارفتن ثبات خاکدانه‌ها اهمیت خاصی داشته (بخش ۷-۴ را مشاهده کنید)، و پلی‌ارونیدها، که در گیاهان وجود نداشته اما در ترکیبات و بازسازی به وسیله میکروب‌ها ساخته می‌شوند، قرار دارند.

بعضی از ترکیبات حتی ساده‌تر، مانند اسیدهای آلی با وزن مولکولی پایین و بعضی مواد شبه‌پروتئین، بخشی از گروه غیرهومیکی به حساب می‌آیند. گرچه هیچ‌کدام از این مواد ساده در مقادیر زیاد یافت نمی‌شوند، حضور آن‌ها، و به‌خصوص اثر آن‌ها بر روی قابلیت استفاده بعضی از عناصر غذایی مانند نیتروژن و آهن، و اثر مستقیم آن‌ها بر روی رشد گیاهان مهم می‌باشد.

پایداری هموس

مطالعات استفاده‌شده از مواد پرتوزا نشان داده‌اند بعضی از کربن‌های آلی تبدیل‌شده به هموس از هزاران سال قبل هنوز در خاک حضور دارند که حاکی از مقاومت بسیار بعضی مواد هموسی در برابر تجزیه میکروبی است. این مقاومت مواد هموسی به اکسیده‌شدن در حفظ میزان ماده‌ی آلی و نگهداری نیتروژن و سایر عناصر غذایی همراه آن در مقابل معدنی‌شدن و هدررفت در داخل خاک مهم می‌باشد. برای مثال تشکیل همتافت پلی‌فنل - پروتئین می‌تواند نیتروژن پروتئین را از حمله میکروبی مصون دارد، هموس به‌رغم مقاومت نسبی آن به تجزیه‌شدن، در معرض حمله مداوم میکروبی قرار دارد. بدون افزایش سالانه پس‌مانده‌های گیاهی کافی، اکسایش میکروبی سبب کاهش میزان ماده‌ی آلی خاک خواهد شد.

ترکیبات رس و هموس: تعامل با کانی‌های رسی راه دیگری برای تثبیت نیتروژن خاک و ماده‌ی آلی می‌باشد. بعضی از رس‌ها به‌خاطر جذب و نگهداری موادی مانند اسید آمینه‌ها، پپتیدها، پروتئین‌ها مشهور بوده، و ایجاد مواد پیچیده‌ای می‌کنند که ترکیبات حاوی نیتروژن را از تجزیه میکروبی محافظت می‌کند. ماده‌ی آلی به‌دام افتاده در منافذ بسیار کوچک (کمتر از ۱ میکرون) ایجاد شده به وسیله ذرات رسی به‌طور فیزیکی برای موجودات تجزیه‌کننده غیرقابل دسترس می‌باشد همچنین، امکان دارد که رس‌های سیلیکاتی لایه‌لایه، مانند ورمی‌کولیت مواد آلی را در بین لایه‌های خود در اشکالی محکم نگهداری کرده، به‌طوری‌که در مقابل تجزیه به‌شدت مقاومت کنند.

بنابراین، رس همراه با پلی‌مرهای هموسی و پلی‌ساکارید می‌تواند ترکیبات نیتروژنی نسبتاً ساده را از حمله میکروبی حفظ کنند در بسیاری از خاک‌ها، بیشتر از نصف ماده‌ی آلی همراه با رس و دیگر ترکیبات معدنی می‌باشند. گرچه وسعت و سازوکار مربوطه هنوز به‌خوبی شناخته نشده است. تعامل رس/هموس تا حدی بیانگر میزان ماده‌ی آلی بالای خاک‌های رسی می‌باشد.

خصوصیات کلوییدی هموس

در فصل ۸ سرشت کلوییدی هموس مورد تأکید قرار گرفت. سطح هموس در واحد جرم بسیار بالا، و معمولاً از رس‌های سیلیکاتی فزون‌تر می‌باشد. سطح کلوییدی هموس به‌خاطر جداشدن H^+ از گروه‌های کربوکسیل ($-COOH$) و فنلی ($-OH$) دارای بار منفی است. میزان بار منفی وابسته به pH است. در pH های بالا ظرفیت تبدیلی هموس بر اساس جرم (۱۵۰ تا ۳۰۰ سانتی‌مول در کیلوگرم) به‌مراتب از اکثر رس‌های سیلیکاتی بیشتر است. هرچند به‌دلیل این‌که هموس دارای جرم حجمی کمتر از رس می‌باشد، ظرفیت تبادل کاتیونی هموس بر اساس حجم (۴۰ - ۸۰ سانتی‌مول در لیتر) برابر با رس‌های سیلیکاتی می‌باشد. واکنش‌های تبادل کاتیونی هموس به‌طور کیفی مشابه

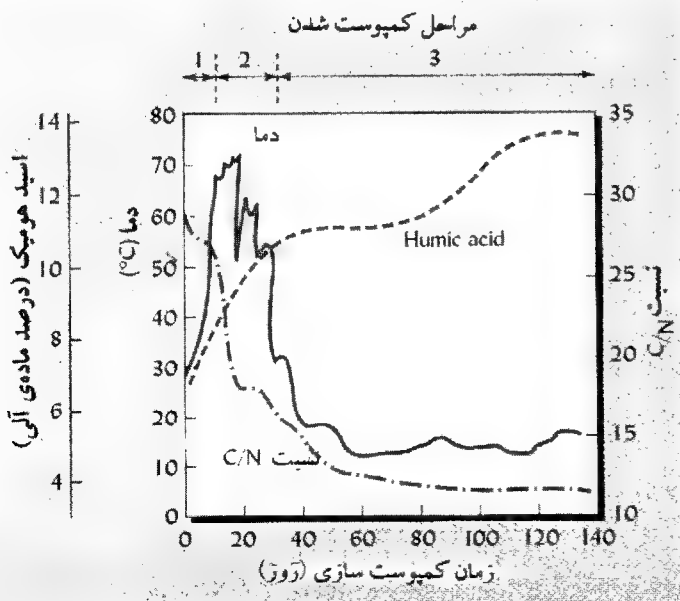
واکنش‌هایی است که با رس‌های سیلیکاتی انجام می‌شوند. میسل هموس همانند ذرات کلوییدی رس دسته‌ای از کاتیون‌های جذب‌شده (Ca^{2+} , H^+ , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ و ...) را در بردارد که با کاتیون‌های محلول خاک مورد تبادل قرار می‌گیرند.

ظرفیت نگهداری آب هموس بر اساس جرم (نه بر اساس حجم) ۴ تا ۵ برابر رس‌های سیلیکاتی است و هموس نقشی در تشکیل خاکدانه‌ها و ثبات آنها ایفا می‌کند. مولکول‌های بسیار پیچیده هموس دارای ساختاری شیمیایی است که می‌تواند تمام طول‌موج‌های قابلیت رؤیت نور را جذب کنند و به آن رنگ تیره خاصی می‌دهد (برای نمونه، افق A غنی از هموس در تابلوهای رنگی ۲ و ۸ را مشاهده کنید).

۵-۱۲ کمپوست و کمپوست کردن

کمپوست کردن عبارتست از ایجاد مواد آلی هموس مانند در خارج از محیط خاک با مخلوط کردن، انباشتن و یا انبار نمودن ماده‌ی آلی در شرایطی که منجر به تجزیه هوازی و حفظ عناصر غذایی گردد. فرایند تجزیه و جانداران مؤثر در آن بسیار شبیه مواردی است که قبلاً در مورد تشکیل هموس در خاک‌ها تشریح گردید، اختلاف عمده در این است که در کمپوست‌سازی تجزیه در خارج از خاک انجام گشته و در این شکل متراکم سبب ایجاد حرارت قابل ملاحظه‌ای می‌گردد. محصول نهایی یا کمپوست به‌خاطر استفاده از آن به‌صورت خاک‌پوش، مخلوط خاک گلدانی و یا کود آلی دارای سرعت کم آزادسازی عناصر، مشهور است.

فرایند کمپوست‌سازی: وقتی حجم کافی از مواد آلی مناسب در یک حالت مرطوب با تهویه خوب نگهداری می‌شود در یک فرایند سه مرحله‌ای تجزیه (شکل ۱۱-۱۲) قرار می‌گیرد: (۱) در طی مرحله‌ی کوتاه معتدل‌دوستی (مزوفیلی) اولیه^۱، شکر و منابع غذایی قابل استفاده دیگر به‌سرعت مورد سوخت‌وساز میکروبی قرار می‌گیرد که سبب می‌شود دمای توده‌ی کمپوست به‌تدریج از دمای محیط بیشتر شده و به ۴۰ درجه‌ی سانتی‌گراد افزایش یابد. (۲) مرحله‌ی گرمادوستی (ترموفیل)^۲ که در طول یک دو هفته بعد انجام می‌گیرد، طی آن دما به ۵۰ تا ۷۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته و جودات گرمادوست، سلولز و سایر مواد مقاوم‌تر را تجزیه می‌کنند. مخلوط کردن مکرر طی این مرحله برای تأمین اکسیژن و یکنواخت شدن دمای تمام مواد ضروری می‌باشد. مواد دارای سهولت تجزیه مصرف شده و ترکیبات هموس مانند در طی این مرحله ساخته می‌شوند (۳) مرحله‌ی معتدل‌دوستی (مزوفیل) ثانویه^۳ و یا مرحله عمل‌آوری هموس که طی آن دما به حدود دمای محیط تنزل یافته و مواد به تسخیر موجودات مزوفیل از جمله موجودات مفید که مواد تحریک‌کننده‌ی رشد و یا مواد ناهمساز با قارچ‌های بیماری‌زا را ایجاد می‌کنند، در می‌آید. این مرحله ممکن است هفته‌ها و یا ماه‌ها ادامه داشته باشد.



شکل ۱۱-۱۲ تغییرات دما، نسبت C/N و میزان اسیدهومیک ماده‌ی آلی در طول تولید هموس از پس مانده‌های جامد شهری (MSW)^۴ کمپوست شده (برای تهویه و مخلوط کردن) و پس از آن به بعد هر دو هفته یکبار برگردانده شده مراحل فرایند کمپوست کردن عبارتند از (۱) مرحله‌ی معتدل‌دوستی اولیه (۲) مرحله‌ی گرمادوستی و (۳) مرحله‌ی معتدل‌دوستی نهایی.

¹ - Initial mesophilic stage

² - Thermophilic stage

³ - Second mesophilic or curing stage

⁴ - Municipal Solid Wastes

سرشت کمپوست تولیدشده: با هموسی شدن مواد آلی خام در یک توده‌ی کمپوست میزان مواد غیرهومیکی کاهش یافته و میزان اسید هومیک به‌طور مشخص افزایش می‌یابد (شکل ۱۱-۱۲). در طول فرایند کمپوست کردن، نسبت C/N مواد آلی در توده‌ی کمپوست تا یک نسبت تقریباً پایدار در فاصله $1/1$ تا $2/1$ کاهش می‌یابد. CEC ماده‌ی آلی تا حدود $70 - 50$ سانتی مول در کیلوگرم کمپوست افزایش می‌یابد. گرچه حدود 50% و یا بیشتر کربن مواد اولیه در طول کمپوست کردن از دست می‌رود، عناصر غذایی عمدتاً حفظ می‌گردند. بنابراین، کمپوست نهایی دارای غلظت بیشتری از عناصر غذایی درمقایسه با ترکیبات خام مواد اولیه مصرف شده بوده و می‌تواند به‌عنوان وسیله‌ای برای ارتقاء حاصلخیزی خاک به‌کار رود. کمپوست نهایی باید عاری از بذور زنده گیاهان هرز و موجودات بیماری‌زا باشد، زیرا این عناصر معمولاً در طول مرحله‌ی گرمادوستی از بین می‌روند. هرچند آلاینده‌های معدنی، مانند فلزات سنگین در کمپوست شدن از بین نمی‌روند. مدیریت مناسب کمپوست به‌منظور مناسب بودن کمپوست برای خاک‌های گلدانی و یا اصلاح خاک لازم است (تابلو ۱-۱۲).

مزایای کمپوست کردن: اگرچه ایجاد کمپوست ممکن است نیازمند کار و هزینه‌ی بیشتر درمقایسه با استعمال مواد آلی کمپوست نشده مستقیماً در داخل خاک باشد، اما فرایند شامل ۷ مزیت مشخص است:

۱- ذخیره مطمئن: کمپوست کردن وسیله‌ای را برای ذخیره مواد آلی به‌طور مؤثر و مطمئن تا موقع مناسب مصرف آن‌ها در مزرعه فراهم می‌سازد.
۲- مدیریت آسان: به‌خاطر از دست رفتن CO_2 و نشست، حجم مواد آلی کمپوست شده حدود 30 تا 50% درصداً طی این فرایند کاهش می‌یابد، حجم کمتر و یکنواختی بیشتر مواد باقیمانده مدیریت استفاده نهایی مواد آلی را به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک و یا مواد گلدانی آسان‌تر می‌سازد.
۳- اجتناب از رقابت نیتروژن: در پس‌مانده‌های گیاهی دارای نسبت C/N اولیه بالا، با کمپوست کردن مناسب اطمینان می‌یابیم که زمان کسادی نیترات خارج از خاک در داخل توده‌ی کمپوست انجام گرفته بنابراین از کاهش نیتروژن در محصولات زراعی اصلی جلوگیری می‌شود.

۴- پایداری نیتروژن: کمپوست کردن می‌تواند خسارت زیست‌محیطی نیترات را از مواد آلی دارای نسبت C/N بسیار پایین (مانند کود دامی و لجن فاضلاب) کاهش دهد، هنگام مصرف در خاک، مواد کمپوست شده معمولاً بسیار آهسته‌تر از مواد کمپوست نشده ماده‌ی آلی تجزیه و معدنی می‌شوند. کمپوست کردن این مواد دارای نسبت C/N پایین با مواد دارای نسبت C/N بالا مانند خاک اره، قطعات چوب، برگ‌های پیر درختان و یا مواد زائد شهری کربن کافی را برای میکروب‌ها جهت عدم تحرک نیتروژن اضافی و به‌حداقل رساندن هر گونه خطرات نیترات از مواد دارای C/N پایین فراهم می‌کند به‌علاوه نیتروژن کافی برای تسریع تجزیه مواد دارای C/N بالا آماده می‌سازد.

۵- ضدعفونی کردن نسبی: دماهای بالا در مرحله گرمادوستی در توده‌های کمپوست با مدیریت خوب بذور اکثر گیاهان و عوامل بیماری‌زا را در طول چند روز از بین می‌برد. در شرایط غیرآزمایی، دما در بخشی از توده‌ی کمپوست از 40 تا 50 درجه سانتی‌گراد بالاتر نمی‌رود، لذا هفته‌ها و ماه‌ها برای به‌دست آوردن همان نتایج لازم می‌باشد.

۶- سمیت زدایی: اکثر مواد سمی که ممکن است در ضایعات آلی (آفت‌کش‌ها و مواد سمی گیاهی طبیعی) موجود باشند در طول کامل شدن و آماده‌گردیدن کمپوست برای مصرف از بین می‌روند. بنابراین کمپوست اغلب به‌صورت روش زیستی برای مداوای خاک‌های آلوده و ضایعات به‌کار می‌رود (بخش ۶-۱۸ را مطالعه کنید).

۷- فرونشاندن امراض: بعضی از کمپوست‌ها می‌توانند امراض نباتی ناشی از خاک را به‌طور مؤثر با تقویت رقابت میکروبی فرو نشانند، اکثر موفقیت در کاهش امراض وقتی صورت می‌گیرد که کمپوست خوب عمل آمده به‌عنوان جزء اصلی مخلوط گلدانی در گیاهان گلخانه‌ای مصرف گردد. فرونشانی امراض نیز با مصرف کمپوست در مزرعه در مواردی مشاهده شده است.

۶-۱۲ اثرات مستقیم ماده‌ی آلی در رشد نبات

مشاهده رشد بهتر گیاهان به‌طور کلی در خاک‌های غنی از ماده‌ی آلی از مدت‌ها قبل مردم را به این فکر انداخته بود که گیاهان بیشتر عناصر غذایی خود را از طریق جذب هموس از خاک‌ها به‌دست می‌آورند. حال می‌دانیم که گیاهان عالی کربن خود را از طریق گازکربنیک هوا به‌دست آورده و اکثر عناصر غذایی مورد نیاز آنها از این‌های معدنی محلول خاک تأمین می‌شود. در واقع، گیاهان می‌توانند چرخه‌ی حیات خود را بدون هموس و یا حتی خاک (در نظام آب‌کشتی (Hydroponic, Aquaculture) بدون خاک با استفاده از محلول‌های غذایی هوادار) تکمیل کنند. این بدان معنی نیست که اهمیت هموس از آن‌چه قبل درباره آن تصور می‌شد برای گیاهان کمتر است، بلکه بیشتر حاکی از این است که بسیاری از اثرات مفید هموس بر رشد گیاه به‌صورت غیرمستقیم و بر خصوصیات خاک است. این مطلب را در بخش ۷-۱۲، بعد از بررسی دو اثر مستقیم ماده‌ی آلی بر روی گیاهان مورد ملاحظه قرار خواهیم داد.

تابلو ۱-۱۲ مدیریت توده‌ی کمپوست

مواد مورد نیاز: برای منازل شخصی، مواد مناسب برای کمپوست کردن شامل برگ‌ها (ترجیحاً قطعه‌قطعه‌شده)، خرده‌ریز چمن، گیاهان هرز (قبل از این‌که به بذر رفته باشند)، اشغال آشپزخانه، تراشه‌های چوب، اشغال جوی‌ها، برگ سوزنی‌برگان، علوفه خراب (به‌خصوص خانواده نیام‌داران)، کاه (کپه‌ای بسته‌بندی قبلی نیز قابل استفاده می‌باشد) و حتی گردوخاک ماشین‌های جاروبرقی می‌باشند. کمپوست کردن مقیاس بزرگ تجاری معمولاً از موادی مانند مواد زائد شهری (عمدتاً اشغال و کاغذ) لجن فاضلاب، قطعات چوب، کود دامی، برگ درختان شهری و مواد زائد کارخانه‌های مواد غذایی استفاده می‌کند.

موادی که از مصرف آن‌ها باید اجتناب کرد: بعضی مواد که از مصرف آن‌ها باید اجتناب کرد عبارتند از: گوشت و اشغال آن (جونداگان را جلب می‌کند)، فضولات گربه (می‌تواند حامل میکروب‌هایی باشد که در صورت ابتلای مادران سبب صدماتی به جنین و نوزادان شود)، مواد زائد چوب حاصل از کارخانه‌های ساخت تخته الوار و سه‌لایی در حرارت زیاد (دارای فلزات سنگین و آرسنیک)، پلاستیک و شیشه (غیرقابل تجزیه، مزاحم و یا خطرناک در مراحل نهایی).

عناصر غذایی متعادل کننده: برای کمپوست کردن مؤثر و ایجاد محصول نهایی بهینه، عناصر غذایی مواد خام باید در تعادل باشند. هرچند مواد هیدروکربنه در صورت برگرداندن مرتب و داشتن رطوبت کافی می‌توانند به‌طور رضایت‌بخشی کمپوست شوند. بهترین نتیجه وقتی به‌دست می‌آید که مواد با نسبت C/N بالا، مانند کاه و یا کاغذ با مواد دارای C/N کم (باقیمانده چمن‌زنی، علف نیام‌دار، خون خشک، لجن فاضلاب و یا کود) مخلوط گردد.

سایر مواد که برای بهبود تعادل عناصر غذایی و میزان آن‌ها اضافه می‌شوند عبارت از کودهای مرکب (غنی از K, P, N)، خاکستر چوب (غنی از Mg, Ca, K)، گرد استخوان و یا گرد سنگ فسفات (غنی از فسفر و کلسیم) و علف دریایی (غنی از Ca, Mg, K و عناصر کم‌مصرف) می‌باشند. بعضی از این مواد دارای نمک‌های محلول زیادی بوده که لازم است نمک در کمپوست عمل آمده نهایی قبل از مصرف برای گیاهان حساس به شوری آبشویی گردد.

روش‌های کمپوست کردن: طراحی توده‌ی کمپوست باید ضمن آن‌که امکان تهویه خوب را در سرتاسر کپه‌ی کمپوست پیش‌بینی کند، تراکم کافی را در توده را به‌خاطر ایجاد گرما و جلوگیری از خشک‌شدن اضافی توده‌ی کمپوست فراهم کند. توده‌ی کمپوست‌های خانگی دارای سطح مقطع ۱-۱/۵ متر مربع و ارتفاع ۱/۵ - ۱ متر است. محفظه‌های پیش‌ساخته‌ی تجاری کمپوست به بازار آمده است که زیر و روکردن کمپوست را آسان‌تر کرده و مشکلات ساخت محفظه‌های کمپوست را از بین برده است. کمپوست کردن در مقیاس بزرگ معمولاً در تل‌انبارهای ردیفی با عرض ۲-۳ متر و ارتفاع ۲ متر و چندین متر طول انجام می‌شوند. در اقلیم خشک، کمپوست کردن در چاله‌های که دارای یک متر عمق است برای جلوگیری از خشک‌شدن کمپوست انجام می‌گیرد. مواد مختلفی که باید کمپوست شوند می‌توانند با هم مخلوط شده و یا در لایه‌های نازکی روی هم قرار گیرند. معمولاً یک مقدار خاک مزرعه و یا کمپوست عمل آمده برای اطمینان از وجود جانداران تجزیه‌کننده به‌مقدار کافی اضافه می‌شود. فعال‌کننده‌های تجزیه‌ی میکروبی کمپوست به‌طور تجاری موجودند. بعضی از آن‌ها ممکن است حرارت اولیه را در توده‌ی کمپوست بالا ببرند. اما آزمایش‌های علمی مزیت دیگری را در استفاده از این محصولات ثابت نکرده است.

تنظیم رطوبت و تهویه: برای کمپوست کردن موفقیت‌آمیز تنظیم رطوبت و تهویه لازم است. سطوح پایین اکسیژن در اثر به‌هم‌زدن کافی به‌انضمام رطوبت اضافی می‌توانند بوهای متعفن، همانند تجزیه غیرهوازی ایجاد کند. نظارت بر دما و میزان اکسیژن توده می‌تواند از این مسأله جلوگیری کند. تهویه خوب می‌تواند با مخلوط کردن یک ماده حجیم مانند قطعات چوب و یا اجتناب از تراکم بیشتر بهبود یابد. تجزیه‌ی ماده‌ی آلی می‌تواند با چرخاندن توده‌ی کمپوست هنگام پایین‌افتادن دما و با فرستادن جریانی از هوا به‌داخل آن تسریع گردد (شکل ۱۲-۲). چرخاندن کمپوست در طول دوره گرمادوستی هروقت که دمای توده پایین افتاد باید انجام گیرد.

کمپوست باید به صورت مرطوب نگهداری شود، اما وقتی فشرده می‌شود نباید تر باشد کمپوست دارای مقدار کافی رطوبت (۷۰-۵۰ درصد) مرطوب احساس می‌شود اما، قطره‌ای آب از آن نمی‌چکد. چرخاندن توده‌ی کمپوست در طول هوای خشک می‌تواند سبب از دست رفتن رطوبت اضافی شود، درحالی‌که گرداندن آن در طول بارش ممکن است سبب مرطوب کردن توده‌ی بسیار خشک گردد.



شکل ۱۲-۱۲ یک روش کارآمد با مدیریت اسان برای کمپوست کردن که مناسب منازل می باشد روش سه محفظه‌ای است، (الف) در این روش مواد در هنگام زیر و رو شدن از یک محفظه به محفظه دیگر منتقل می‌شوند. محفظه در سمت چپ دارای مواد نسبتاً تازه بوده، در صورتی که محفظه‌ای که در منتهی الیه سمت راست قرار دارد شامل کمپوست تمام شده است. این محفظه‌ها در مؤسسه‌ی تحقیقاتی رودال در پنسیلوانیا عمدتاً برای کمپوست کردن خرده ریزهای چمن زنی و پس مانده‌های گیاهی در یک باغ سبزی کاری به کار می‌روند. اکثر عملیات کمپوست سازی در مقیاس بزرگ از ردیف‌های انبار شده طولانی استفاده می‌کنند که می‌توانند به وسیله‌ی ماشین‌های مخصوص زیر و رو شده، و یا به وسیله‌ی فرستادن هوا به داخل توده انبار شده و یا به داخل لوله‌های مشبک داخل توده، تهویه انجام گردد (ب). در مورد نشان داده شده در عکس، لجن فاضلاب با قطعات چوب مخلوط شده و به وسیله‌ی روش هوادهی بلتسویل وزارت کشاورزی آمریکا* کمپوست شده است. هوا از داخل ردیف‌های بلند توده‌ی کمپوست خارج شده و به داخل توده‌های عمل آمده فرستاده می‌شود تا بوی موجود در جریان هوا جذب شود.

* - USDA Beltsville aerated pile method

اثر مستقیم هموس در رشد گیاه

به خوبی مشخص شده است که ترکیبات آلی خاص به وسیله‌ی گیاهان عالی جذب می‌شوند. گیاهان می‌توانند بخش کوچکی از نیازهای نیتروژن و فسفر خود را به صورت ترکیبات آلی محلول جذب کنند. ترکیبات مختلف تسریع رشد مانند ویتامین‌ها، اسید آمینه‌ها، اکسین و جبرلین با تجزیه‌ی ماده‌ی آلی تشکیل می‌شوند. این مواد می‌توانند در مواقعی سبب تحریک رشد در گیاهان عالی و ریزجانداران شوند. مشخص شده است که مقادیر اندکی از اسید فولویک و اسید هومیک در محلول خاک سبب ارتقاء بعضی از جنبه‌های رشد گیاهی می‌شود (جدول ۵-۱۲ را مشاهده کنید). اجزای این مواد هومیکی احتمالاً به عنوان تنظیم کننده فعالیت خاص در رشد گیاه مانند تولید شدن یاخته و آغاز ریشه دوانی جانبی عمل می‌کنند. غلظت این مواد هومیکی مؤثر در تحریک رشد معمولاً در مناطق مرطوب به مقدار ۵۰ تا ۱۰۰ میلی گرم در لیتر (قسمت در میلیون) در تحریک رشد گیاهی مؤثری باشد.

محصولات هوماتی تجاری با این ادعا که مقادیر اندک آنها سبب ارتقاء رشد گیاه می‌شود مورد دادوستد قرار می‌گیرند. اما آزمایش‌های علمی بر روی بسیاری از این محصولات نتوانسته است مزایایی را با مصرف آنها به اثبات برساند، شاید به این دلیل که میزان مواد هومیکی مؤثر به‌طور طبیعی در اکثر خاک‌ها وجود دارد.

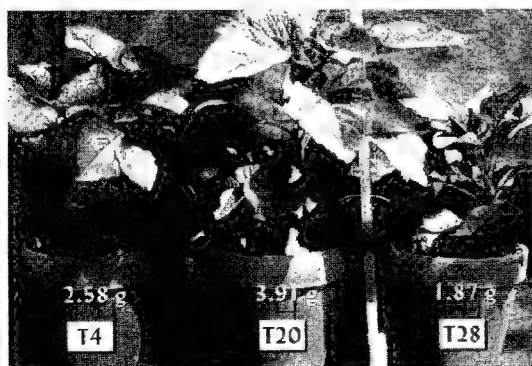
جدول ۵-۱۲ بعضی اثرات مستقیم مواد هومیکی بر روی رشد نبات

اثرات بر رشد گیاهی	مواد هومیکی	میزان غلظت میلی گرم در لیتر
جذب سریع آب و ارتقاء جرانه‌زدن بذرها	اسید هومیک	۱۰۰ - ۱
تحریک ریشه‌دوانی و طولانی شدن ریشه	اسید هومیک و اسیدفولویک	۳۰۰ - ۵۰
ارتقاء طولانی شدن یاخته ریشه	اسید هومیک	۲۵ - ۵
ارتقاء رشد شاخه و ریشه گیاه	اسید هومیک و اسیدفولویک	۳۰۰ - ۵۰

اثرات آللو شیمیایی^۱: دگرآزاری (اللوپاتی)^۲ فرایندی است که در آن در اثر مواد شیمیایی حاصل از نبات در خاک، رشد دیگر گیاهان تحت تأثیر قرار می‌گیرد. ممکن است نبات این کار را مستقیماً با ترشح مواد شیمیایی دگرآزار انجام داده و یا این که این ترکیبات بر اثر سوخت و ساز میکروبی از تجزیه‌ی بافت‌های مرده نبات به‌دست آید (شکل ۱۳-۱۲). واژگان دگرآزاری شیمیایی همچنین گاهی به مواد شیمیایی گیاهی که سبب توقف رشد ریزجاندانان می‌شوند به‌کار می‌رود. در اصل تعامل بسیار مشابه روابط ناهمسازی در بین بسیاری از ریزجاندانان است که در فصل ۱۵-۱۱ مورد بحث قرار گرفت.

مواد شیمیایی دگرآزار موجود در خاک به‌طور آشکار در بسیاری از اثرات مفید و منفی مشاهده شده هنگامی که نباتات مختلف همراه یکدیگر کشت می‌شوند مسوول می‌باشند. علف‌هرزهای خاص (علف جانسون^۳ و دم‌روباهی عظیم‌الجثه^۴) با تولید چنین مواد شیمیایی سبب ایجاد خساراتی در محصولات دیگر به‌مراتب بیش از اندازه و تعداد نسبی علف هرز موجود می‌شود. پس‌مانده‌های گیاهی باقیمانده در سطح ممکن است سبب محدودیت جوانه‌زنی در رشد محصول بعدی مورد کاشت گردد (برای مثال، بقایای گندم معمولاً سبب محدودیت رشد ذرت خوشه‌ای می‌شوند). سایر تعامل‌های دگرآزاری در توالی گونه‌ها در تکامل و بلوغ بوم‌سامان جنگلی و مرتعی مؤثر می‌باشند.

تعامل‌های دگرآزاری معمولاً بسیار اختصاصی بوده و شامل فقط چند گونه و یا حتی چند رقم خاص گیاهی چه درمورد تولیدکنندگان و چه دریافت‌کننده آن می‌باشد. اثرات مواد شیمیایی دگرآزار بسیار و متنوع می‌باشد. گرچه واژه‌گان دگرآزاری به‌طور بسیار معمول به اثرات منفی اشاره دارد مواد دگرآزار شیمیایی می‌توانند مثبت هم باشند (مانند کشت‌های توام در باغچه‌ها). گرچه ترکیب شیمیایی این مواد مختلف است، بیشتر مواد دگرآزار دارای ترکیبات نسبتاً ساده فنی و یا ترکیبات اسیدی آلی بوده که می‌توانند جزء مواد غیرهومیکی به‌حساب آیند. از آن‌جاکه اکثر این ترکیبات می‌توانند به‌سرعت به‌وسیله‌ی ریزجاندانان خاک از بین رفته، و یا مورد آبشویی قرار گرفته و از منطقه‌ی ریشه گیاه خارج گردند اثرات آن‌ها به‌نبال از بین رفتن منبع تولید آن‌ها کوتاه مدت می‌باشد.



شکل ۱۳-۱۲ اثرات مثبت و منفی دگرآزاری لوییای بالدار بر تاج خروس بذری. در گلدان سمت چپ (T4) تاج خروس در خاک تازه (بدون لویسا) کشت شده است. در گلدان وسط (T20) تاج خروس در خاکی که قبلاً در آن لوییای بالدار عمل آمده بود کشت گردید (اثر مثبت). در گلدان سمت راست T28 تاج خروس در خاک تازه کشت شده اما هر روز سه بار با آبی که در آن عصاره‌ی ساقه لویا قرار داشت آبیاری شد (اثر منفی). معدل وزن خشک تاج خروس برای هر نبات در شکل نشان داده شده است، تمام گلدان‌ها با محلول دارای عناصر غذایی کافی آبیاری شدند.

^۱ - Allelochemicals

^۲ - Allelopathy

^۳ - Johnson grass

^۴ - Giant foxtail

۷-۱۲ تأثیر مواد آلی بر خصوصیات خاک و محیط

ماده‌ی آلی خاک در بسیاری از خصوصیات و فرایندهای خاک مؤثر می‌باشد، به‌طوری‌که تشریح کامل آنها خارج از محدوده‌ی مورد نظر این فصل است. در واقع و به‌طور کلی در هر فصل این کتاب به نقش ماده‌ی آلی خاک اشاره شده است. به‌عنوان مقدمه‌ای بر توزیع و مدیریت ماده‌ی آلی در خاک‌ها مفید خواهد بود که شکل (۱۴-۱۲) که بعضی از اثرات مهمتر ماده‌ی آلی را بر خصوصیات خاک و تعامل خاک-محیط خلاصه نموده است مورد مطالعه قرار گیرد. معمولاً هر تأثیر منجر به اثر دیگری خواهد شد. بنابراین یک زنجیر، مرکب از مزایای چندگانه با مصرف ماده‌ی آلی در خاک‌ها حاصل می‌شود. برای مثال (با شروع از بخش سست چپ فوقانی شکل)، اضافه کردن خاک‌پوش آلی به سطح خاک سبب تحریک فعالیت کرم خاکی می‌شود که پیامد که ایجاد حفره‌ها و سایر منافذ زیستی می‌شود، که نفوذ آب بیشتر و جلوگیری از بروز رواناب را به‌دنبال دارد، که در نتیجه‌ی آن آلودگی رودخانه‌ها و دریاچه‌ها کاهش می‌یابد.

تأثیر بر خصوصیات فیزیکی خاک: هموس سبب ایجاد رنگ تیره قهوه‌ای تا سیاه در افق‌های سطحی خاک می‌شود. خاکدانه‌سازی و ثبات خاکدانه‌ها به‌ویژه به‌وسیله‌ی بخش غیرهومیک ماده‌ی آلی تقویت می‌گردد. شکل‌پذیری، هم‌چسبی و چسبندگی خاک‌های رسی بر اثر وجود ماده‌ی آلی کاهش یافته، و مدیریت این خاک‌ها آسان می‌گردد. از آن‌جاکه ماده‌ی آلی هم سبب بالارفتن نفوذپذیری و هم ظرفیت نگهداری آب می‌باشد، نگهداری آب خاک نیز افزایش می‌یابد.

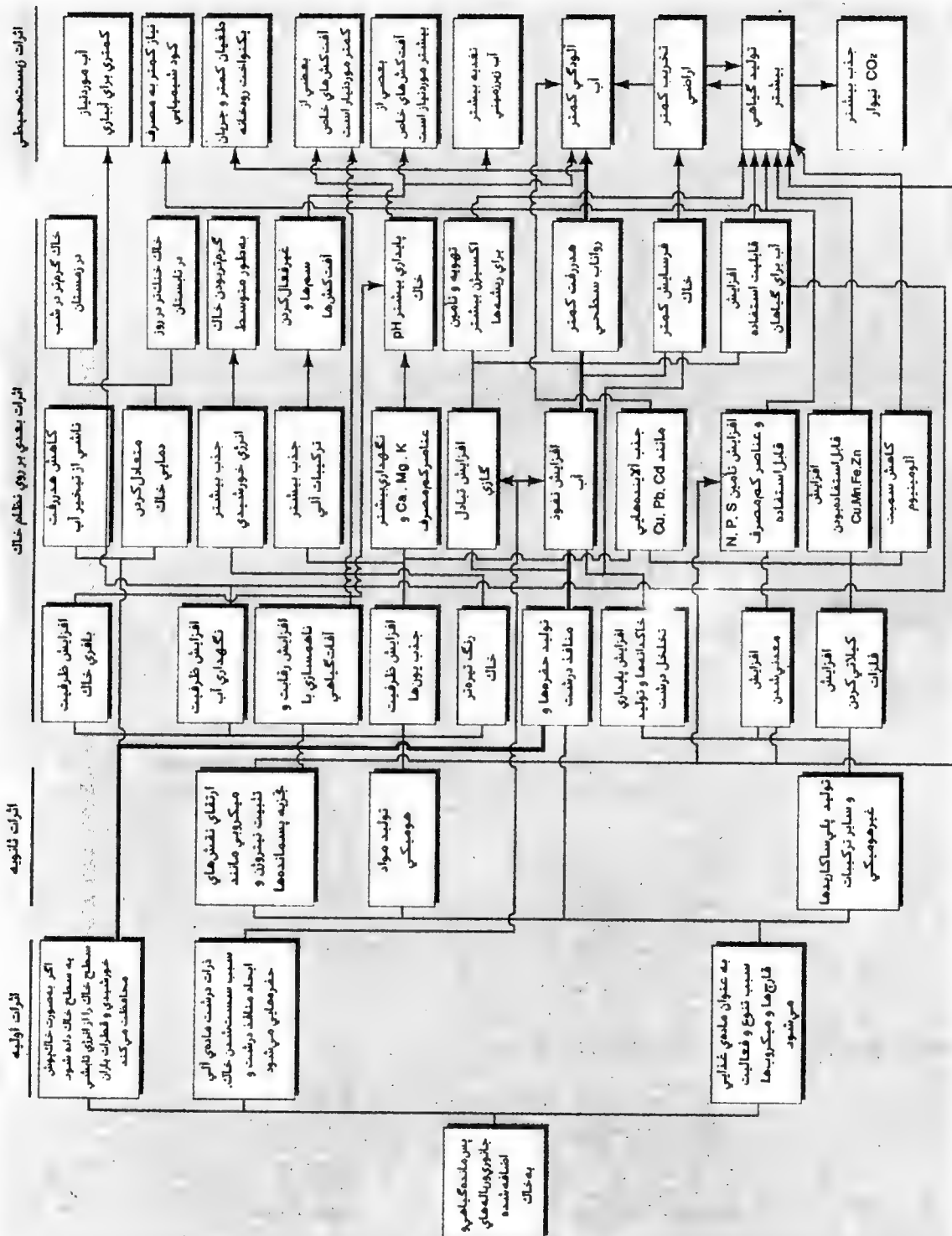
تأثیر بر خصوصیات شیمیایی خاک: از آن‌جاکه CEC هموس در هر کیلو خاک ۲ تا ۳۰ برابر انواع کانی‌های مختلف رسی می‌باشد معمولاً ۵۰ تا ۹۰ درصد توان جذب کاتیونی خاک‌های معدنی را شامل می‌گردد. همانند رس، کلویدهای هموسی سبب نگهداری کاتیون‌های غذایی (پتاسیم، کلسیم، منیزیم و ...) در اشکال بسیار قابل‌تبادل می‌شود که می‌توانند مورد استفاده نبات قرار گرفته، اما در خاک‌رخ به آسانی مورد آبشویی قرار نگیرند. ماده‌ی آلی از طریق ظرفیت تبادل کاتیونی و گروه‌های عامل اسیدی و بازی بیشتر ظرفیت بافری را در خاک‌ها فراهم می‌کند، به‌علاوه نیتروژن، فسفر، گوگرد و عناصر کم‌مصرف به‌صورت اجزای ماده‌ی آلی تا آزاد شدن آنها طی معدنی‌شدن ذخیره می‌شوند. اسید هومیک به کانی‌های خاک حمله کرده و تجزیه آنها را تسریع می‌کند بنابراین، عناصر غذایی اساسی به‌صورت کاتیون‌های قابل‌تبادل آزاد می‌شوند. اسیدهای آلی، پلی‌ساکاریدها و اسید فولویک همگی می‌توانند کاتیون‌هایی مانند Mn^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} و Fe^{3+} از لبه ساختمان کانی جدا نموده و آنها را به‌صورت کیلات در آورده و یا آنها را در ترکیبات همتافت آلی - معدنی پایدار قرار دهند. بعضی از این عناصر فلزی چون در شکل محلول و کیلاته نگهداری می‌شوند به‌عنوان عناصر کم‌مصرف برای نباتات بیشتر قابل‌استفاده می‌باشند (فصل ۱۵ را مشاهده کنید). در خاک‌های خیلی اسیدی، ماده‌ی آلی سبب آلومینیوم را با در پیوند قراردادن یون‌های آلومینیوم در ترکیبات غیرسمی کاهش می‌دهد (بخش ۲-۹ را مشاهده کنید).

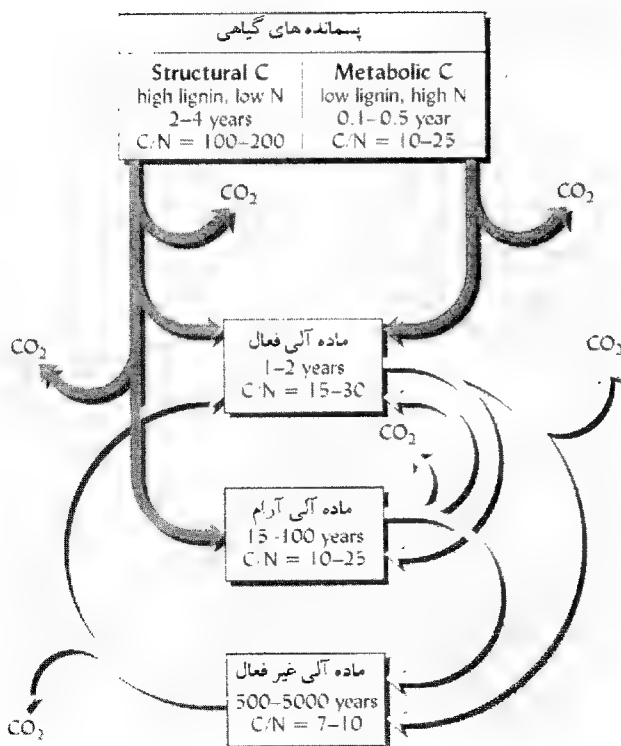
اثرات زیستی: ماده‌ی آلی خاک به مقدار زیادی در زیست‌شناسی خاک تأثیرگذار است، زیرا غذای اصلی جوامع جانداران ناخودپرور خاک را که در فصل ۱۱ مورد تشریح قرار گرفت تأمین می‌کند. در بخش ۳-۱۲ مشخص شد که کیفیت لاشبرگ گیاهی و ماده‌ی آلی خاک به‌طور مشخص در میزان تجزیه، و بنابراین، مقدار تراکم ماده‌ی آلی در خاک مؤثر است.

۸-۱۲ مدیریت مقدار و کیفیت ماده‌ی آلی خاک

شاید مفیدترین روش تعریف کیفیت ماده‌ی آلی خاک تشخیص مخازن مختلف کربن آلی است که دارای حساسیت مختلف به سوخت‌وساز میکروبی می‌باشند. مدلی که ۵ نوع از این مخزن‌های کربن را در پس‌ماندهای گیاهی و ماده‌ی آلی مشخص می‌سازد در شکل ۱۵-۱۲ مشخص شده است، همان‌طور که در بخش‌های قبل بحث گردید، پس‌ماندهای گیاهی شامل بعضی از اجزاء (کربن قابل‌سوخت‌وساز) مانند قندها، پروتئین‌ها و نشاسته می‌باشند که به آسانی به‌وسیله‌ی میکروب‌های خاک مورد سوخت‌وساز قرار می‌گیرند. سایر اجزاء (کربن ساختمانی) که عمدتاً در ساختمان و دیوارهای یاخته‌ای گیاهی موجود می‌باشند شامل لگنین، پلی‌فنل‌ها، سلولز و مواد موسمی بوده که در مقابل تجزیه مقاوم می‌باشند. مدل شکل ۱۵-۱۲ این گروه‌ها را به ترتیب به‌عنوان مخزن کربن سوخت‌وساز و مخزن کربن ساختمانی در پس‌ماندهای گیاهی معرفی می‌کند.

مقدار کل ماده‌ی آلی خاک‌ها مجموعه‌ای از مخازن مختلف ماده‌ی آلی تحت اسامی، فعال، آرام و غیرفعال می‌باشد.





شکل ۱۵-۱۲ یک مدل فرضی که منابع مختلف ماده‌ی آلی را با حساسیت‌های مختلف به سوخت‌وساز میکروبی مشخص کرده است. مدل‌هایی که بخش‌های فعال، آرام و غیرفعال ماده‌ی آلی خاک را در بر می‌گیرند ثابت کرده‌اند که در توضیح و برآورد تغییرات واقعی در میزان مواد آلی خاک و خصوصیات خاک مربوط به آن‌ها بسیار مفید بوده‌اند. توجه داشته باشید که فعالیت میکروب‌ها می‌تواند کربن آلی را از یک بخش به بخش دیگر انتقال دهد برای نمونه وقتی مواد غیرهومیکی و سایر اجزاء بخش فعال به سرعت تجزیه می‌شوند بعضی از محصولات فرعی مقاوم پیچیده ممکن است تشکیل شوند که به بخش غیرفعال اضافه گردند. توجه داشته باشید تمام این تغییرات سوخت‌وساز سبب هدررفت مقدار زیادی کربن به صورت CO_2 می‌باشد.

بخش فعال ماده‌ی آلی

بخش فعال ماده‌ی آلی خاک شامل موادی با نسبت C/N بالا (نزدیک ۳۰-۱۵) و نیمه‌عمر کوتاه (نصف این مواد در طول چند هفته و یا چند سال می‌تواند مورد سوخت‌وساز میکروبی قرار گیرد) می‌باشد. اجزاء این بخش احتمالاً شامل زیتوده زنده، بعضی از مواد تخریب شده ریز (POM)^۱، اکثر پلی‌ساکاریدها، سایر مواد غیرهومیک و همین‌طور بخشی از اسیدفولویک قابل تجزیه^۲ می‌باشد که در بخش ۴-۱۲ مورد توجه قرار گرفت. این بخش فعال اکثر غذای قابل دسترسی جانداران خاک، بیشترین نیتروژن قابل معدنی‌شدن و اکثر اثرات مفید بر ثبات ساختمانی را شامل می‌باشد که سبب افزایش نفوذ آب، مقاومت به فرسایش و سهولت عملیات خاک‌ورزی می‌شود. بخش فعال می‌تواند با اضافه کردن پسماندهای گیاهی و یا جانوری تازه افزایش یابد، اما با کاهش این بقایا و یا تمرکز عملیات خاک‌ورزی به آسانی نیز از دست می‌رود. این بخش به‌تدرت بیشتر از ۱۰ تا ۲۰ درصد کل ماده‌ی آلی خاک را شامل می‌گردد.

بخش غیرفعال و آرام ماده‌ی آلی خاک

بخش غیرفعال، شامل مواد بسیارپایدار می‌باشد که برای صدها و حتی هزاران سال در خاک باقی می‌مانند. این بخش شامل اکثر هموس نگهداری شده به‌طور فیزیکی به‌وسیله‌ی همتافت رس - هموس، بخش اکثر هومین و بیشتر اسیدهای هومیک که در بخش‌های قبل تشریح گردید می‌باشند. بخش غیرفعال ۹۰-۶۰ درصد ماده‌ی آلی را در اکثر خاک‌ها شامل می‌شود و مقدار آن به کندی افزایش و یا کاهش می‌یابد. بخش غیرفعال در ارتباط نزدیک با خصوصیات کلوییدی هموس خاک بوده و اکثر CEC و ظرفیت نگهداری آب در ماده‌ی آلی خاک مربوط به آن می‌باشد.

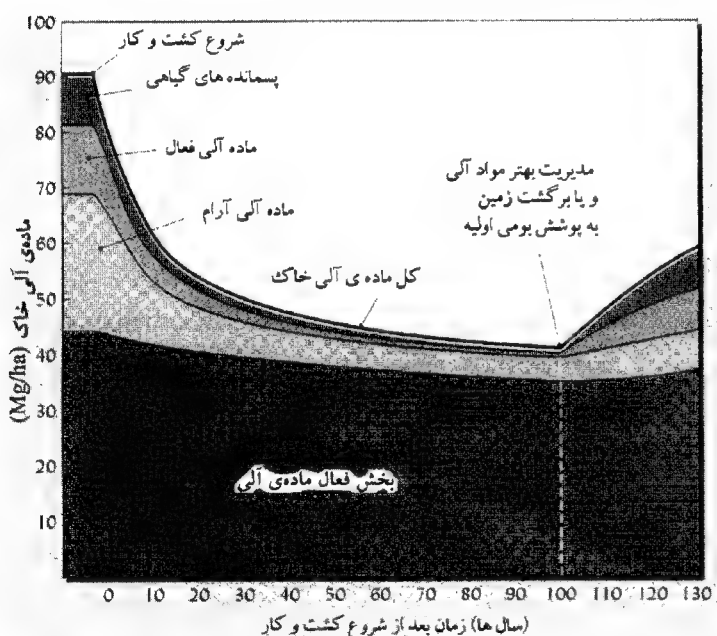
بخشی از ماده‌ی آلی با خصوصیات حد واسطه در بین بخش فعال و غیرفعال بخش آرام ماده‌ی آلی خاک است. این بخش احتمالاً شامل اندام‌های گیاهی خیلی ریز دارای لگنین زیاد و یا سایر اجزای با قابلیت تجزیه کند و یا مقاوم شیمیایی می‌باشند. نیمه‌عمر این مواد ده‌ها سال است. بخش آرام منبع مهمی از نیتروژن قابل معدنی‌شدن و سایر عناصر غذایی گیاهان، و منابع غذایی مشخص میکروب‌های بومی را شامل می‌شود. از نظر ایفای نقش بخش آرام احتمالاً عهده‌دار بخشی از اثرات اصلی مربوط به بخش فعال و غیرفعال نیز می‌باشد.

^۱ - Particulate Organic Matter

^۲ - Labile

تغییرات در بخش‌های فعال و غیرفعال با مدیریت خاک

روش‌های تجزیه خاک تنها می‌تواند بخش‌های فیزیکی و شیمیایی ماده‌ی آلی را که وظایف بخش‌های فعال، آرام و غیرفعال را به‌طور تقریبی برآورد می‌کنند، ارزیابی نمایند. گرچه روش‌های مؤثری برای جداسازی و یا اندازه‌گیری دقیق اجزای فعال، آرام و غیرفعال ماده‌ی آلی خاک در دسترس نیست، دانشمندان به‌طور مرتب مشاهده کرده‌اند که خاک‌هایی با توان تولید بالا که تحت مدیریت خاک‌ورزی حفاظتی قرار دارند دارای نسبت بیشتری از بخش فعال به‌صورت زیتوده میکروبی و قندهای قابل اکسید شده می‌باشند (جدول ۱۰-۲۰ را مشاهده کنید). به‌رغم این مشکلات موجود در تجزیه‌ی ماده‌ی آلی مدل‌هایی که فرض آنها بر وجود این سه مخزن استوار است در توضیح و برآورد تغییرات واقعی در میزان ماده‌ی آلی و خصوصیات خاک وابسته به آنها، مفید بوده‌اند. مطالعات انجام شده در مورد پویایی ماده‌ی آلی ثابت کرده‌اند که بخش‌های مختلف ماده‌ی آلی نقش‌های کاملاً متفاوتی را در مدیریت خاک و چرخه‌ی کربن، ایفا می‌کنند. حضور منبع مقاوم (ساختمانی)^۱ کربن و همین‌طور منبع دارای سهولت تجزیه^۲ (سوخ‌وساز) در پس‌مانده‌های گیاهی چگونه تجزیه‌ی سریع اولیه اما روبه‌کندی را هنگام اضافه‌کردن بافت‌های گیاهی به خاک (این شیوه‌های تجزیه در اشکال ۳-۱۲ و ۴-۱۲ تشریح شده‌اند) توضیح می‌دهد. به‌همین نحو وجود یک منبع همتافت مقاوم ماده‌ی آلی خاک (بخش غیرفعال)، و همین‌طور منبع دارای سهولت سوخت‌وساز (بخش فعال) تشریح می‌کنند که چرا کشت و کار در یک خاک بکر سبب کاهش سریع ماده‌ی آلی خاک در سال‌های اولیه، و کاهش بسیار آرام‌تر به‌دنبال آن در سال‌های بعدی خواهد شد (شکل ۱۶-۱۲).



شکل ۱۶-۱۲ تغییرات در بخش‌های مختلف ماده‌ی آلی در ۲۵ سانتی‌متر فوقانی در یک خاک شاخص بعد از به زیر کشت درآوردن خاک بکر. ابتدا در شرایط پوشش طبیعی، این خاک دارای حدود ۹۱ تن در هکتار ماده‌ی آلی کل بود. بخش مقاوم غیرفعال دارای حدود ۴۴ تن در هکتار و یا حدود نصف ماده‌ی آلی خاک بوده و بخش دارای سرعت تجزیه سریع یا بخش فعال حدود ۱۴ تن در هکتار یا ۱۶ درصد ماده‌ی آلی کل را شامل بود. بعد از حدود ۴۰ سال کشت و کار، بخش غیرفعال با کاهش ۱۱ درصد به ۳۹ تن در هکتار رسید، در صورتی که بخش فعال ۹۰ درصد خود را از دست داده و به ۱/۴ تن در هکتار کاهش یافت. توجه کنید که بیشتر هدررفت ماده‌ی آلی برابر تغییر مدیریت سبب مصرف بخش فعال گردید و این همان بخشی است که با اعمال مدیریت پیشرفته ماده‌ی

آلی بعد از ۱۰۰ سال به‌سرعت افزایش یافت. حساسیت بخش فعال به تغییرات سریع مشخص می‌سازد که چرا حتی تغییرات کوچک در کل ماده‌ی آلی می‌تواند تغییرات شدیدی را در خصوصیات مهم خاک مانند ثبات خاکدانه‌ها و معدنی‌شدن نیتروژن که در ارتباط با این بخش است به‌وجود آورد.

عملیات مدیریت خاک که تغییرات بسیار اندکی در ماده‌ی آلی خاک ایجاد می‌کنند، اغلب اثرات برجسته‌ای بر ثبات ساختمانی و معدنی‌شدن نیتروژن و بر روی بعضی از خصوصیات و جنبه‌های مشخص توان تولیدی که وابسته به ماده‌ی آلی است، اعمال می‌کنند. علت آن افزایش و یا کاهش شدید بخش کوچک ماده‌ی آلی فعال خاک بدون هرگونه اثر برجسته‌ای بر منبع بسیار بزرگ کل ماده‌ی آلی می‌باشد. شکل ۱۶-۱۲ نشان می‌دهد چگونه بخش‌های مختلف ماده‌ی آلی با تغییر مدیریت (در این مورد کشت و کار در یک خاک دست نخورده قبلی) تحت تأثیر قرار می‌گیرند و چگونه آن‌ها به تغییر کلی در میزان ماده‌ی آلی خاک منجر می‌شوند.

¹ - Structural C

² - Metabolic C

پس ماند‌های گیاهی تجمع یافته و بخش فعال ماده‌ی آلی نخستین بخش‌هایی هستند که بر اثر مدیریت اراضی تحت تأثیر قرار گرفته و اکثر هدررفت‌های اولیه در ماده‌ی آلی خاک با آغاز کشت و کار در زمین‌های بکر به آنها مربوط می‌شود. برعکس، هدررفت در بخش غیرفعال بسیار تدریجی است. در نتیجه ماده‌ی آلی باقیمانده بعد از چند سال در ارتقاء پایداری خاکدانه‌ها و چرخه‌ی عناصر غذایی بسیار کمتر از ماده‌ی آلی اصلی در خاک دست نخورده مؤثر می‌باشد. اگر تغییر مطلوبی در شرایط محیطی و یا نحوه‌ی مدیریت صورت گیرد لاشبرگ گیاهی و بخش فعال ماده‌ی آلی خاک زودتر از همه به طور مثبت تحت تأثیر قرار خواهند گرفت (بخش سمت راست شکل ۱۶-۱۲ را مشاهده کنید).

۱۲-۹ تعادل کربن در نظام خاک - نبات - نیوار

مدیریت درست ماده‌ی آلی چه با هدف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای باشد و یا ارتقای کیفیت و توان تولید، نیازمند فهم عوامل و فرایندهای مؤثر در چرخه و تعادل کربن در یک بوم سامان می‌باشد. گرچه هر نوع بوم سامان خاص چه جنگل خزان کننده، یک مرغزار و یا مزرعه گندم مسیر و بخش خاصی را در چرخه کربن مورد تأکید قرار خواهند داد، ملاحظه یک مثال خاص مانند آن چه در تابلو ۱۲-۲ تشریح شده است می‌تواند در ارائه یک مدل فراگیر که بتواند برای موقعیت خاص مورد استفاده باشد، ما را یاری دهد.

بوم سامان کشاورزی

نرخ افزایش و کاهش ماده‌ی آلی خاک به وسیله‌ی تعادل بین دست آوردها و هدررفت‌های کربن تعیین می‌شود. دست آوردها در این بوم سامان عمدتاً از پس ماند‌های گیاهی کشت شده در محل و استفاده از مواد آلی به دست می‌آید. هدررفت‌ها عمدتاً در نتیجه تنفس (هدررفت CO_2)، برداشت محصول و فرسایش می‌باشد (جدول ۶-۱۲).

حفاظت کربن خاک: برای توقف هدررفت خالص کربن و یا برعکس نمودن آن، که در شکل ۱۷-۱۲ نشان داده شده است باید آن نوع عملیات مدیریتی به کار گرفته شوند که سبب افزایش کربن و یا کاهش هدررفت کربن از خاک گردد. از آن جاکه تمام پس ماند‌های گیاهی و کود دامی در مثال ۱۷-۱۲ قبلاً به خاک برگردانده شده‌اند، نهاده‌های بیشتر کربن به طور بسیار عملی می‌تواند با کشت محصولات بیشتر (افزایش میزان عملکرد، یا کشت گیاهان پوششی زمستانه) حاصل گردد.

عوامل خاص برای کاهش هدررفت کربن شامل مهار بهتر فرسایش خاک و استفاده از خاک‌ورزی حفاظتی است. استفاده از نظام خاک‌ورزی بدون انجام عملیات شخم و شیار سبب باقی گذاشتن پس ماند‌های گیاهی به صورت خاک‌پوش در سطح خاک می‌گردد که بسیار آهسته تجزیه می‌شوند. اجتناب از شخم زدن ممکن است سبب کاهش هدررفت سالانه ناشی از تنفس از ۲/۵ درصد اولیه به ۱/۵ درصد گردد. ترکیبی از این تغییرات در مدیریت سبب برگشت نظام تخریب ماده‌ی آلی در مثال (کاهش)، به نظام تجمع ماده‌ی آلی (افزایش) گردد.

بوم سامان طبیعی

کسانی که علاقمند به بوم سامان طبیعی هستند ممکن است بخواهند که چرخه کربن یک جنگل طبیعی را با یک مزرعه ذرت در شکل ۱۷-۱۲ مقایسه کنند. اگر حاصلخیزی خاک جنگل خیلی پایین نباشد، تولید کل جرم حیاتی سالانه احتمالاً شبیه مزرعه ذرت خواهد بود. از طرف دیگر، چون محصول چوب هر سال برداشت نمی‌شود، زیتوده‌ی سرپا در جنگل در مقایسه با مزرعه ذرت بسیار بالاتر است. گرچه مقادیری برگ به کف جنگل می‌ریزد، بیشترین تولید سالانه زیتوده در درخت باقی می‌ماند.

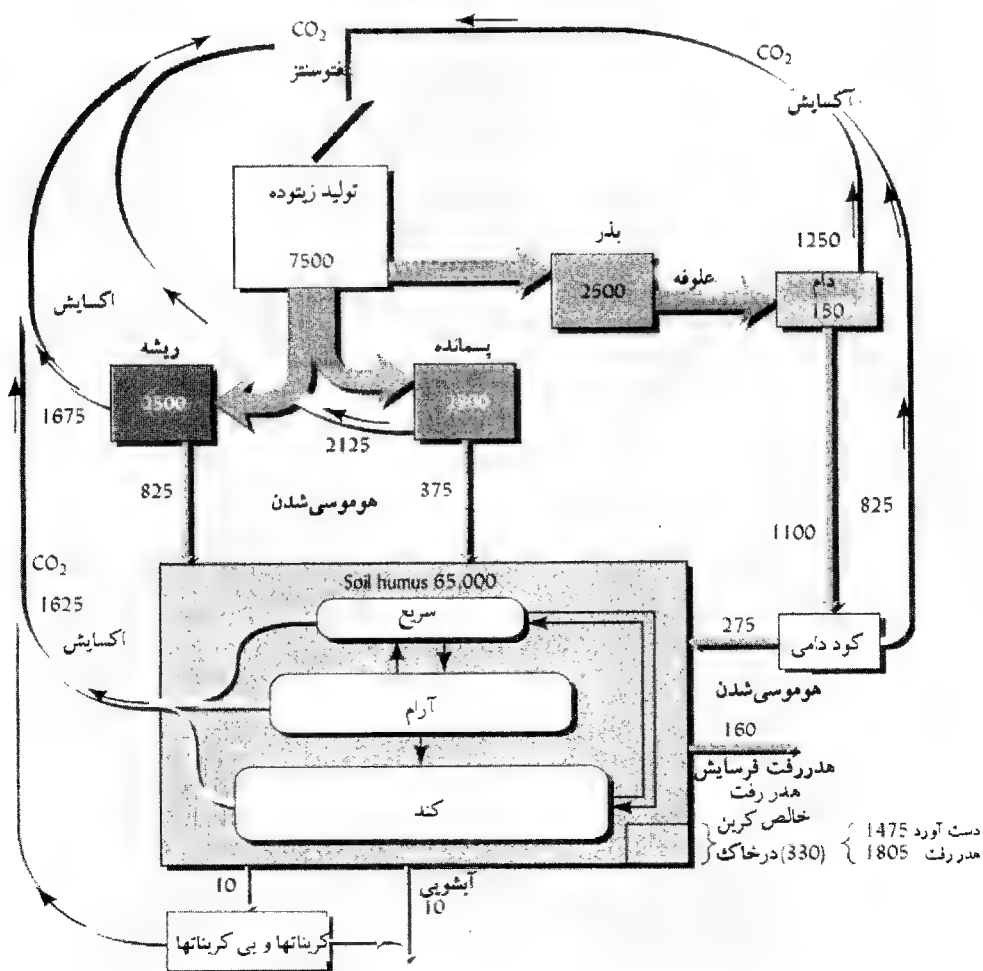
میزان اکسایش هموس در جنگل بکر به هم نخورده به طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از مزرعه شخم خورده است، زیرا لاشبرگ جنگلی بر اثر نبود عملیات خاک‌ورزی در داخل خاک مخلوط نشده و پیامد دست نخوردگی فیزیکی، کاهش تنفس است. لاشبرگ گونه‌های درختی خاص ممکن است از نظر مواد فنلی و لگنین غنی بوده که سبب می‌گردند تجزیه‌ی ماده‌ی آلی و هدررفت کربن کاهش یابد (شکل ۸-۱۲). به علاوه هدررفت ماده‌ی آلی بر اثر فرسایش در منطقه جنگلی بسیار کم‌تر است. با در نظر گرفتن این عوامل امکان اضافه شدن خالص سالانه‌ی ماده‌ی آلی در جنگل جوان، و حفظ میزان ماده‌ی آلی بالای خاک در جنگل بالغ، فراهم می‌باشد.

چمن زارها: شیوه مشابهی با جنگل در چمن زارهای طبیعی وجود دارد، گرچه زیتوده‌ی کل تولید شده عمدتاً متکی به باران سالانه بوده و به طور قابل ملاحظه‌ای در مقایسه با جنگل کمتر است. در بین اصول تشریح شده در تابلو ۲-۱۲، که قابل تعمیم در اکثر بوم سامان‌ها می‌باشد، نقش غالب زیتوده‌ی ریشه در نگهداری میزان ماده‌ی آلی خاک می‌باشد. در چمن زارها نقش ریشه گیاهان از نقش آن‌ها در جنگل مهم‌تر است و بنابراین بخش بزرگی از زیتوده‌ی تولید شده به صورت ماده‌ی آلی خاک تمرکز می‌یابد، و این کربن آلی به طور یکنواخت‌تری در عمق خاک توزیع یافته است.

تابلو ۲-۱۲ تعادل کربن - نمونه‌ای از یک بوم‌سامان کشاورزی

منبع اصلی کربن و جریان سالانه‌ی آن در یک بوم‌سامان زمینی در شکل ۱۷-۱۲ با استفاده از پیش‌فرض یک مزرعه‌ی ذرت در منطقه گرم و معتدل تشریح شده است. در طول فصل رشد، نبات ذرت ۱۷۵۰۰ کیلوگرم ماده‌ی خشک در هکتار به وسیله‌ی سوخت‌وساز نوری تولید می‌کند که شامل ۷۵۰۰ کیلوگرم کربن می‌باشد. این کربن به‌طور یکنواخت در بین ریشه، دانه و پس‌مانده‌های برداشت‌شده محصول در سطح زمین (هرکدام ۲۵۰۰ کیلوگرم) توزیع شده است. در این مثال دانه برداشت‌شده برای تغذیه گاو مصرف می‌شود که باعث می‌گردد ۱۲۵۰ کیلوگرم آن اکسید شده و به‌صورت CO_2 آزاد شود و بخش کوچکی برای افزایش وزن دام جذب و بقیه (۱۱۰۰ کیلوگرم) به‌صورت کود دامی دفع گردد. ساقه و ریشه‌ی ذرت باقیمانده در مزرعه همراه با کود دامی در داخل خاک برائش خاک‌ورزی و یا کرم‌های خاکی مخلوط می‌شود.

میکروب‌های خاک پس‌مانده‌های گیاهی (از جمله ریشه‌ها) و کود دامی را تجزیه نموده و ۷۵ درصد کربن کود و ۶۷ درصد کربن ریشه باقیمانده ۸۵ درصد کربن پس‌مانده‌های سطحی را به‌صورت CO_2 آزاد می‌کنند. کربن باقیمانده این منابع در هضم مجدد برای ایجاد هموس خاک مصرف می‌شود بنابراین، در طول یک سال ۱۴۷۵ کیلوگرم کربن داخل مخزن هموس می‌گردد. (۸۲۵ کیلوگرم از ریشه، به اضافه ۳۷۵ کیلوگرم از ساقه ذرت و ۲۷۵ کیلوگرم از کود دامی) این مقادیر با ارقام شکل ۱۰-۱۲ همخوانی دارند. اما این ارقام در بین شرایط مختلف خاک و بوم‌سامان‌ها به‌طور گسترده متغیر می‌باشد.



شکل ۱۷-۱۲ چرخه کربن در یک بوم‌سامان کشاورزی

در ابتدای سال ۳۰ سانتی‌متر فوقانی خاک در مثال فوق دارای ۶۵۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کربن آلی در هموس می‌باشد. این خاک برای کشت نباتات ردیفی به‌طور مشخص ۲/۵ درصد ماده‌ی آلی خود را بر اثر تنفس خاک از دست می‌دهد. در مثال، این هدررفت معادل ۱۶۲۵ کیلوگرم کربن در هکتار می‌باشد. هدررفت مشابه کربن آلی خاک به‌مقدار کمتر به‌صورت فرسایش خاک (۱۶۰ کیلو در هکتار)، آبشویی خاک‌رخ (۱۰ کیلوگرم در هکتار) و تشکیل کربنات‌ها و بی‌کربنات‌ها (۱۰ کیلوگرم در هکتار) صورت می‌گیرد. در مقایسه هدررفت کل (۱۸۰۵ کیلوگرم) با دست‌آورد کل (۱۴۷۵ کیلوگرم) در مخزن هموس خاک، مشاهده می‌کنیم که خاک در مثال ما دارای خالص هدررفت ۳۳۰ کیلوگرم کربن در هکتار در سال می‌باشد (۵/۰ درصد کل هموس ذخیره شده). اگر این مقدار هدررفت ادامه یابد تخریب کیفیت خاک و توان تولید مطمئناً حاصل خواهد شد.

جدول ۶-۱۲ عوامل مؤثر در تعادل بین دست‌آورد و هدررفت کربن آلی خاک‌ها

عوامل مؤثر در افزایش هدررفت	عوامل مؤثر در ارتقای دست‌آورد
فرسایش	کود سبز و یا گیاهان پوششی
کشت وکار پر نهاده	خاک‌ورزی حفاظتی
یرداشت کل نبات و محصول	برگشت پس‌مانده‌های گیاهی به خاک
دمای بالا و در معرض نور قرار گرفتن	دمای پایین و سایه اندازی
چرای بیش از حد	چرای تحت نظارت
رطوبت اندک خاک	رطوبت زیاد خاک
آتش	خاک‌پوش سطحی
فقط استفاده از مواد معدنی	استفاده از کمپوست و کود دامی
نیترژن معدنی فراوان	سطوح مناسب نیترژن
توان تولید اندک محصول	توان تولید بالای محصول
نسبت پایین ریشه به ساقه‌ی نبات	نسبت بالای ریشه به ساقه‌ی نبات

۱۰-۱۲ عوامل و عملیات مؤثر در میزان ماده‌ی آلی خاک

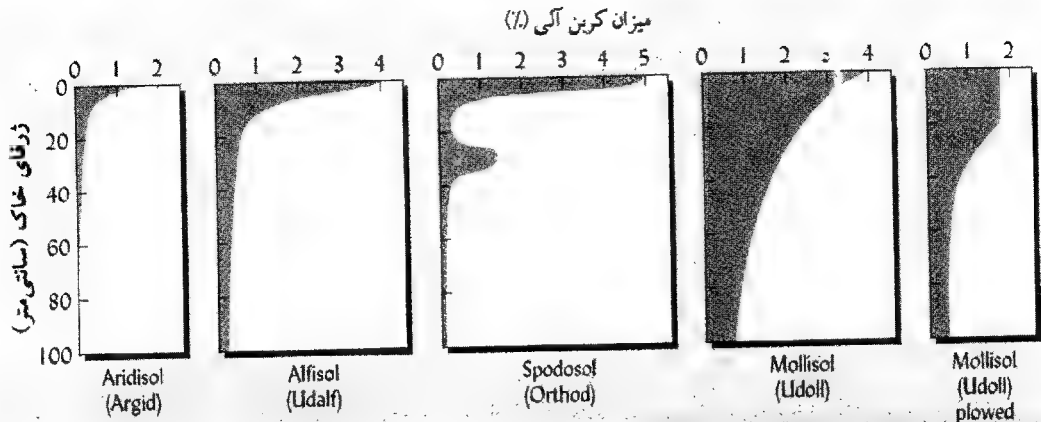
میزان ماده‌ی آلی در خاک‌ها در حد بسیار زیادی متغیر می‌باشد. در خاک‌های سطحی معدنی مقدار آنها از یک مقدار جزئی (خاک‌های شنی و خاک‌های بیابانی) تا به مقدار زیاد در حد ۲۰ تا ۳۰ درصد (افق A در بعضی خاک‌های جنگلی) متفاوت است. بعضی خاک‌ها دارای ماده‌ی آلی بیشتری می‌باشند اما آنها اغلب خاک‌های آلی هستند که در بخش ۱۲-۱۲ مورد تشریح قرار خواهند گرفت. در عمل، میزان ماده‌ی آلی خاک معمولاً از روی میزان کربن آلی برآورد می‌شود، زیرا کربن آلی می‌تواند با دقت بیشتری تعیین گردد. بنابراین، در مباحث فنی معمولاً به کربن آلی استناد می‌کنیم. دامنه‌ی تغییرات و میزان کربن آلی در نمونه‌های معرف رده‌های مختلف خاک در جدول ۱-۱۲ ارائه شده است.

تفاوت کربن آلی در بین رده‌های خاک

گرچه میزان ماده‌ی آلی در داخل یک رده خاک حتی ممکن است تا ۱۰ برابر تغییر کند، می‌توان به چند جمع‌بندی کلی در میزان ماده‌ی آلی انواع خاک‌های مختلف مبادرت نمود. اریدی‌سول (خاک‌های مناطق خشک) دارای کمترین مقدار کربن آلی و هیستوسول‌ها (خاک‌های آلی) دارای بیشترین مقدار می‌باشند (تابلوهای رنگی ۳ و ۶ را مقایسه کنید). برخلاف پندار مشهور، خاک‌های جنگلی در مناطق مرطوب گرمسیری (اکسی‌سول‌ها و الی‌سول‌ها) دارای میزان کربن مشابهی با خاک‌های مناطق مرطوب معتدل (الی‌سول‌ها و اسپدوسول‌ها) می‌باشند. خاک‌های اندی‌سول (خاکسترهای آتشفشانی) معمولاً دارای بالاترین میزان‌های کربن آلی در بین خاک‌های معدنی هستند، احتمالاً همراهی ماده‌ی آلی با رس آلفان در این خاک‌ها کربن آلی را از اکسایش محفوظ میدارد (تابلو رنگی ۲ را مشاهده کنید). در بین خاک‌های زیر کشت در مناطق مرطوب و نیمه‌مرطوب خاک‌های مولی‌سول (خاک‌های مرغزارها) به‌خاطر لایه‌ی سطحی غنی از کربن آلی تیره‌رنگ مشهورند (تابلو رنگی ۸ را مشاهده کنید).

میزان کربن آلی افق‌های تحت‌الارض معمولاً بسیار کمتر از خاک‌های سطحی است (شکل ۱۸-۱۲). از آن‌جا که بخش اعظم پس‌مانده‌های آلی در هر دو خاک تحت کشت و بکر یا در داخل خاک سطحی مخلوط شده و یا بر روی آن تجمع یافته است، ماده‌ی آلی در لایه‌های

فوقانی تمرکز می‌یابد. همچنین باید توجه داشت که میزان کربن چمن‌زارها با شدت کمتری در عمق درمقایسه با خاک اراضی جنگلی کاهش می‌یابد، زیرا بیشتر پس‌مانده‌های گیاهی اضافه شده در چمن‌زارها شامل ریشه‌های افشان انتشار یافته در سرتاسر خاک‌رخ می‌باشد



شکل ۱۸-۱۲ توزیع عمودی کربن آلی در خاک‌های دارای زه‌کشی مناسب چهار راسته‌ی خاک، به‌میزان بالاتر و عمیق‌تر کربن آلی در خاک‌هایی که تحت پوشش چمن‌زارها تشکیل شده‌اند (مولی‌سول‌ها) درمقایسه با الفی‌سول‌ها و اسپدوسول‌ها، که در زیر جنگل تشکیل شده‌اند، توجه کنید همچنین به برآمدگی میزان کربن آلی در خاک تحت‌الارض اسپدوسول، به‌خاطر هموس آبشویی شده در افق اسپودیک توجه کنید (فصل ۳ را مشاهده کنید). خاک‌های ارییدی‌سول دارای میزان بسیار اندک کربن در خاک‌رخ می‌باشند، که شاخص خاک‌های مناطق خشک است.

تعادل بین دست‌آورد و هدررفت کربن

همان‌طور که در بخش‌های قبل مشخص گردید، میزان تراکم ماده‌ی آلی در خاک‌ها به‌وسیله‌ی تعادل بین تجمع و هدررفت کربن آلی تعیین می‌شود. تجمع اصولاً تحت اداره‌ی مقدار و نوع پس‌مانده‌های گیاهی و جانوری اضافه شده به خاک در هر سال می‌باشد، درحالی‌که هدررفت در نتیجه اکسایش ماده‌ی آلی موجود خاک، و همچنین فرسایش می‌باشد. حال عوامل متعددی را که در نرخ تجمع و یا هدررفت مؤثرند مورد ملاحظه قرار خواهیم داد (جدول ۶-۱۲ را برای بررسی بعضی عوامل ناشی از مدیریت مشاهده کنید).

تأثیر اقلیم

شرایط اقلیمی، به‌خصوص دما و بارندگی تأثیر بارزی بر مقدار کربن آلی و نیتروژن موجود در خاک اعمال می‌کنند (بحث کلاسیک پنی ۱۹۴۱ را در مورد این تأثیر مطالعه کنید).

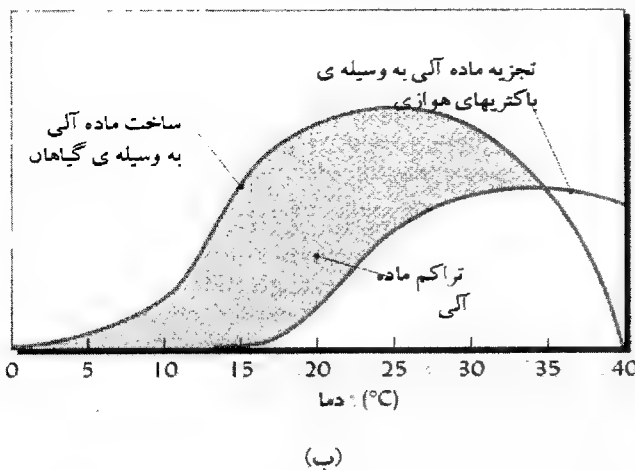
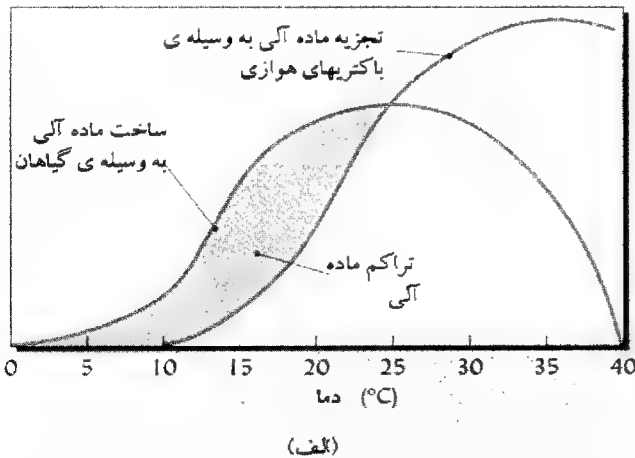
دما: اثر دما ناشی از حالت‌های مختلفی است که در آن فرایندهای تولید ماده‌ی آلی (رشد گیاهی) و نابودی ماده‌ی آلی (تجزیه‌ی میکروبی) به این متغیر اقلیمی عکس‌العمل نشان می‌دهند. شکل ۱۹-۱۲ الف نشان می‌دهد که در دماهای پایین رشد گیاه از تجزیه پیشی می‌گیرد، اما عکس آن در بالاتر از ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد صادق است. در خاک‌های گرم آزادشدن عناصر غذایی سرعت گرفته اما تجمع مواد آلی باقیمانده کندتر از خاک‌های سرد است. بنابراین، با حرکت از اقلیم گرم‌تر به اقلیم سردتر ماده‌ی آلی و میزان نیتروژن همراه آن در خاک‌های قابل‌مقایسه افزایش خواهد یافت. بعضی از سریع‌ترین میزان‌های تجزیه‌ی ماده‌ی آلی در خاک‌های تحت آبیاری در بیابان‌های گرم صورت می‌گیرد.

در محدوده‌های دارای شرایط رطوبتی و پوشش گیاهی یکسان، میانگین ماده‌ی آلی و نیتروژن خاک‌ها به‌ازاء هر ۱۰ درجه کاهش میانگین دمای سالانه ۲-۳ برابر افزایش می‌یابد. این تأثیر دما را می‌توان با توجه به تیره‌تر شدن رنگ خاک‌های سطحی دارای زه‌کشی خوب با مسافرت از جنوب (لوئیزیانا) به شمال (مینه‌سوتا) در علف‌زارهای مرطوب شمال آمریکا در منطقه‌ی دشت‌های بزرگ^۱ مشاهده کرد. تغییرات مشابهی نیز در میزان ماده‌ی آلی با بالا رفتن از اراضی پست گرم به مناطق مرتفع کوهستانی آشکار است.

رطوبت خاک: رطوبت خاک نیز تأثیر عمده‌ای بر تراکم ماده‌ی آلی و نیتروژن در خاک‌ها دارد. در شرایط مشابه، میزان نیتروژن و ماده‌ی آلی خاک‌ها با افزایش رطوبت مؤثر افزایش می‌یابد، و همزمان با آن نسبت C/N تعادل دارد که در خاک‌های کاملاً آبشویی شده مناطق پرباران افزایش یابد. این روابط با مشاهده‌ی افت‌های ضعیف‌تر و تیره‌تر هنگام عبور از عرض منطقه‌ی دشت‌های بزرگ آمریکای شمالی در

^۱ - Great Plains

یک محدوده با دمای متوسط سالانه یکسان از مناطق خشک‌تر در غرب (کلرادو) تا مناطق با بارندگی بیشتر در شرق (میسوری و ایلی‌نوی) روشن می‌گردد (شکل ۲۰-۱۲). توضیح این مطلب در پوشش بسیار پراکنده مناطق خشک نهفته است. در تعیین این همبستگی باران باید به‌خاطر داشت که میزان ماده‌ی آلی در هر خاک تحت تأثیر هم دما و هم بارندگی و همین‌طور سایر عوامل می‌باشد. کمترین میزان ماده‌ی آلی خاک و بزرگ‌ترین مشکل در نگهداری این میزان در مناطقی یافت می‌شود که میانگین دمای سالانه بالا و بارندگی پایین است (شکل ۲۰-۱۲). این روابط از نظر توان تولید و حفاظت خاک‌ها و مشکلات نسبی در مدیریت پایدار منابع طبیعی فوق‌العاده مهم می‌باشند.



شکل ۱۹-۱۲ تعادل بین تولید ماده‌ی آلی به‌وسیله‌ی نباتات و تجزیه‌ی میکروبی آن، مشخص‌کننده‌ی تأثیر دما بر تجمع ماده‌ی آلی در خاک‌ها می‌باشد. بخش هاشورخورده بیانگر تراکم ماده‌ی آلی تحت شرایط هوازی (الف) و غیرهوازی (ب) می‌باشد. ماده‌ی آلی خاک در اقلیم سرد، به‌خصوص در خاک‌های ماندابی غیرهوازی در مقادیری زیاد تراکم می‌یابند، توجه داشته باشید که تراکم حاصل از شرایط غیرهوازی در اکثر دماها بیشتر بوده و تا دماهای بالاتر نیز در مقایسه با شرایط هوازی تداوم دارد. این امر تشریح می‌کند که چرا مناطق شبه گرمسیری فلورینا می‌توانند هم دارای خاک‌های آلی (اراضی باتلاقی)، و هم دارای خاک‌های حاوی ماده‌ی آلی اندک (در بخش‌های از ایالت دارای زه‌کشی بهتر) باشند.

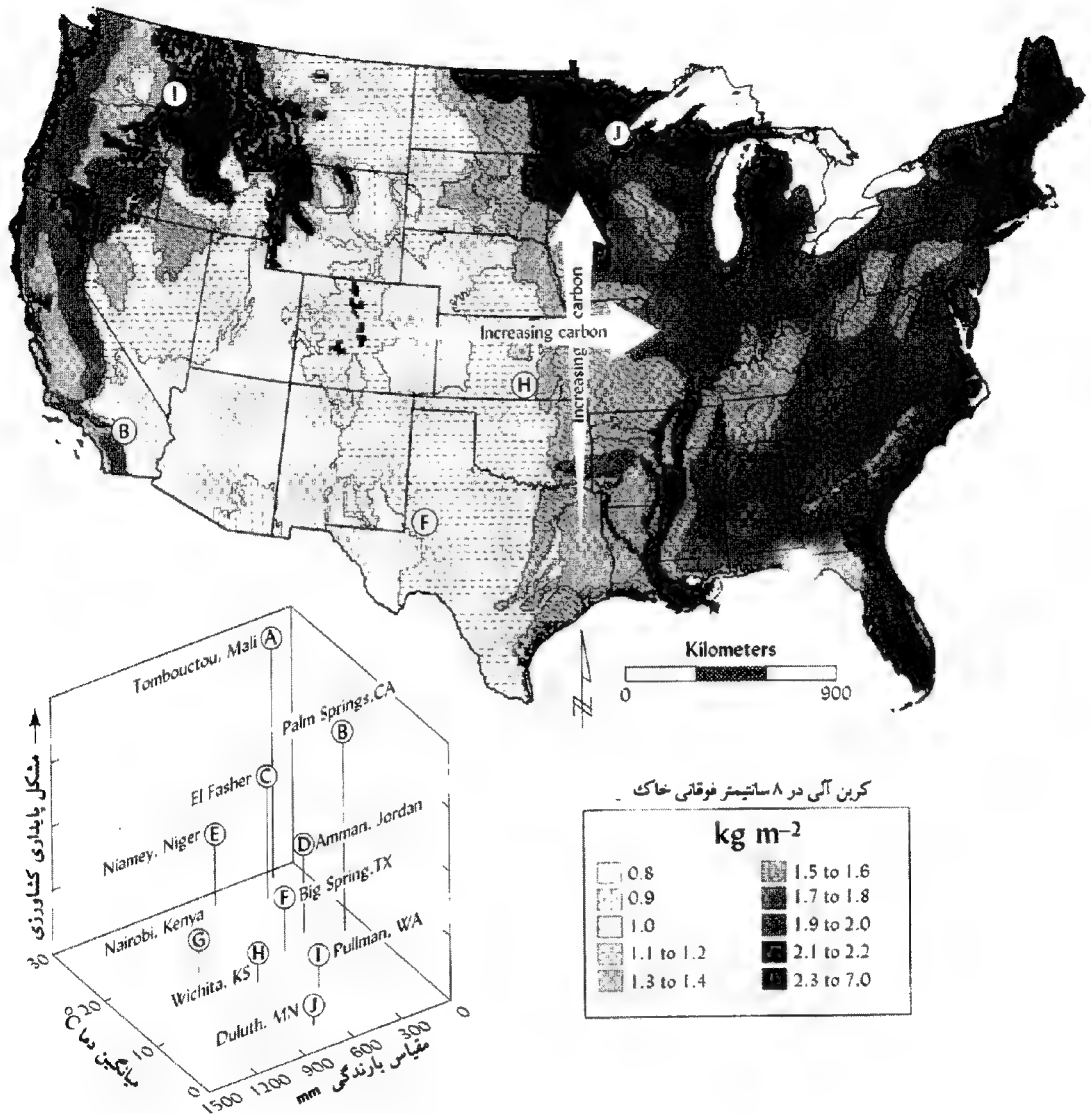
تأثیر پوشش طبیعی

اقلیم و پوشش گیاهی معمولاً با هم بر میزان کربن آلی و نیتروژن خاک‌ها تأثیرگذار می‌باشند. تولید بیشتر محصولات گیاهی در یک محیط دارای آب کافی معمولاً سبب تجمع بیشتر ماده‌ی آلی در خاک می‌شود. علف‌زارها معمولاً در مناطق نیمه‌مرطوب و نیمه‌خشک غالب می‌باشند، درحالی‌که درختان در مناطق مرطوب برتری یافته‌اند. در اقلیم‌هایی که پوشش طبیعی شامل درختان و علف‌زارهاست، کل ماده‌ی آلی تولید شده در خاک‌های تکامل یافته در علف‌زارها از جنگل‌ها بیشتر است (شکل ۱۸-۱۲). در اراضی با پوشش مرتعی بخش نسبتاً بزرگی از پس‌مانده‌های گیاهی شامل بقایای ریشه می‌باشد که به‌کندی تجزیه شده و در ایجاد هموس بسیار مؤثرتر از لاشبرگ جنگلی است.

اثر بافت و زه‌کشی

درحالی‌که اقلیم و پوشش طبیعی در گستره‌های وسیع جغرافیایی بر روی میزان ماده‌ی آلی خاک مؤثرند، زه‌کشی و بافت خاک مسوول تفاوت‌های چشم‌گیر در ماده‌ی آلی در چشم‌اندازهای محلی می‌باشند. در یکسان‌بودن دیگر شرایط، خاک‌های دارای رس و لای بیشتر معمولاً دارای ماده‌ی آلی زیادتری از خاک‌های شنی می‌باشند (شکل ۲۱-۱۲ را مشاهده کنید). مقدار پس‌مانده‌های آلی برگشت داده شده به

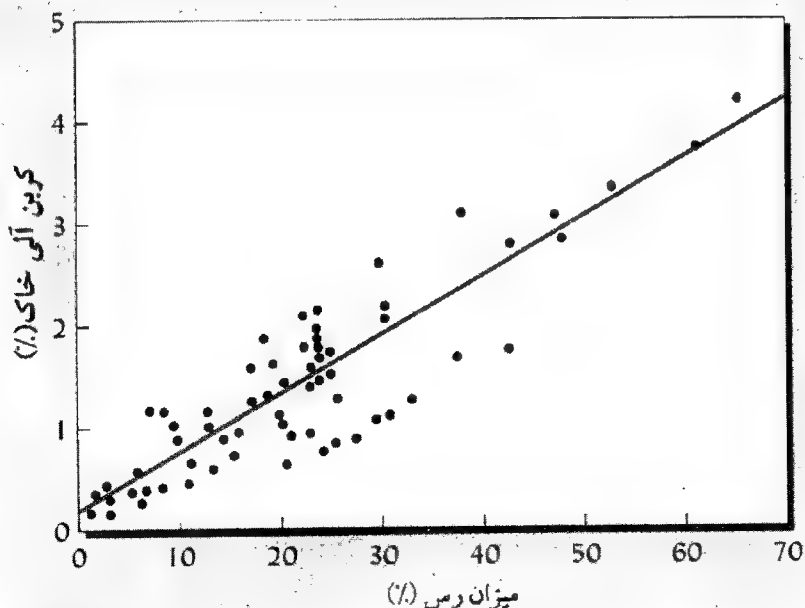
خاک در خاک‌های بافت ریز معمولاً زیاده‌تر است زیرا ظرفیت بالای نگهداری آب و عناصر غذایی در این خاک‌ها تولید و رشد نبات را افزایش می‌دهد. در ضمن ممکن است حفره‌های معمولاً کوچک‌تر خاک‌های بافت ریز مانع تهویه خاک و کاهش اکسایش ماده‌ی آلی گردد. عامل دیگری که برای تجمع بیشتر ماده‌ی آلی در خاک‌های بافت ریز مناسب است تشکیل همتافت‌های رس-هموس می‌باشد که ماده‌ی آلی را از تخریب محافظت می‌کند (بخش ۴-۱۲ را مشاهده کنید).



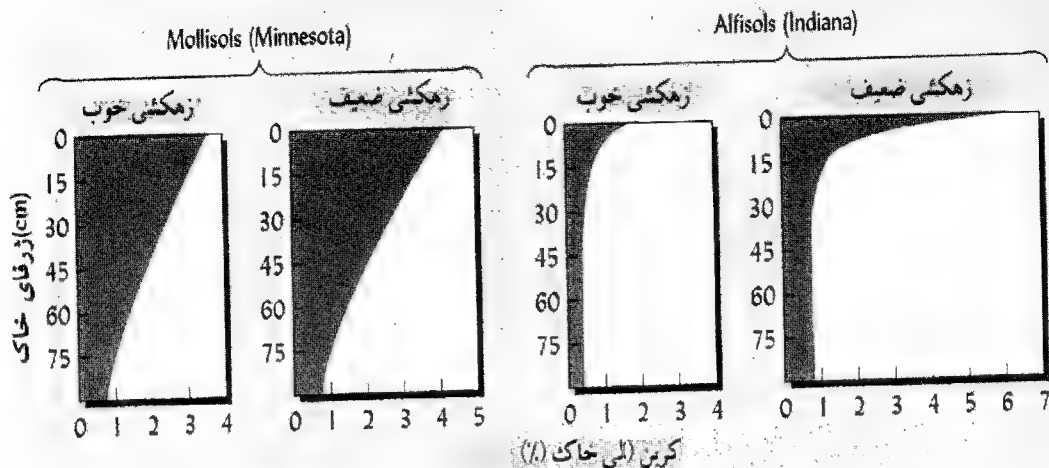
شکل ۱۲-۲۰ تأثیر میانگین دما و بارندگی سالانه بر میزان ماده‌ی آلی و مشکلات حفظ توان تولید منابع خاک. پیکان‌های سفید بزرگ بر روی نقشه نشان‌دهنده‌ی منطقه‌ی دشت‌های بزرگ امریکاست. ماده‌ی آلی با خنک‌تر شدن دما به‌طرف شمال و با بارندگی بیشتر به‌طرف شرق به شرط یکسان بودن بافت خاک و پوشش گیاهی، زه‌کشی و تمام دیگر جنبه‌ها (به‌استثنای دما و بارندگی)، افزایش می‌یابد. این شیوه را نیز می‌توان در قلمرو کره‌ی زمین تعمیم داد. بارندگی و دما به‌خاطر اثر آن‌ها در میزان رشد و اکسایش ماده‌ی آلی، مشکلاتی را در جلوگیری از فرسایش خاک و ارائه نظام‌های پایدار کشاورزی در اقالیم مختلف آب‌وهوایی جهان مطرح می‌کنند. توجه کنید چند محل که در تصویر پایین سمت چپ نشان داده شده‌اند، در نقشه نیز آمده‌اند.

اثرات زه‌کشی: در خاک‌ها با زه‌کشی ضعیف میزان رطوبت بالا سبب افزایش میزان تولید ماده‌ی خشک گشته و تهویه نسبتاً ضعیف تجزیه‌ی ماده‌ی آلی را محدود می‌کند (شکل ۱۹-۱۲ الف). در خاک‌هایی با زه‌کشی ضعیف معمولاً ماده‌ی آلی و نیتروژن بیشتری نسبت به خاک‌های مشابه اما دارای تهویه بهتر تجمع می‌یابد (شکل ۲۲-۱۲ را مشاهده کنید). برای مثال خاک‌های قرار گرفته در کنار نهرها اغلب دارای ماده‌ی آلی نسبتاً زیادی می‌باشند. بخشی از علت آن زه‌کشی ناقص آن‌ها است. در محیط‌هایی با زه‌کشی خیلی ناقص، مقدار ماده‌ی آلی

به اندازه‌ی کافی برای تشکیل خاک‌های هیستوسول تجمع می‌یابد. چنانچه شرایط ماندابی طبیعی هیستوسول‌ها با نصب شبکه‌ی زه‌کش مصنوعی تغییر یابد، تأمین اکسیژن کافی باعث می‌شود که بیشتر ماده‌ی آلی تجمع‌یافته در این خاک ناپدید گردد (فصل ۱۲-۱۲ را مشاهده کنید).



شکل ۱۲-۲۱ تأثیر میزان رس بر سطوح کربن آلی در جنوب دشت‌های بزرگ امریکا



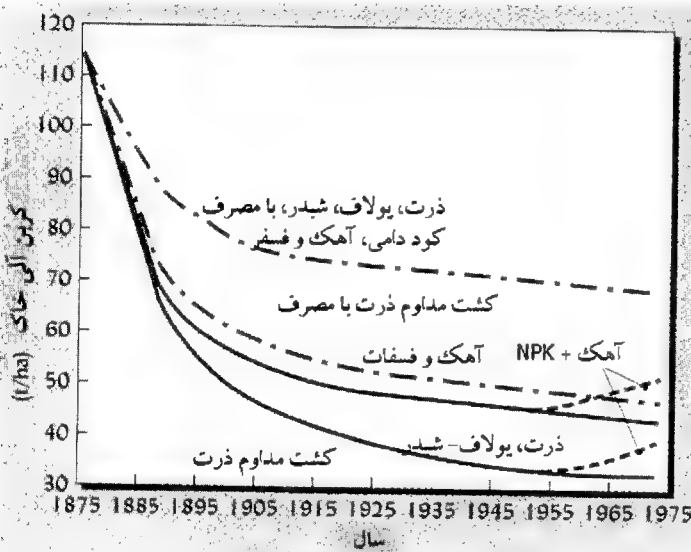
شکل ۱۲-۲۲ توزیع کربن آلی در چهار خاکرخ. دو خاکرخ با زه‌کشی خوب و دو خاکرخ با زه‌کشی ضعیف. زه‌کشی ناقص سبب ایجاد ماده‌ی آلی بیشتری به‌خصوص در افق‌های سطحی گردید.

تأثیر مدیریت کشاورزی و خاک‌ورزی

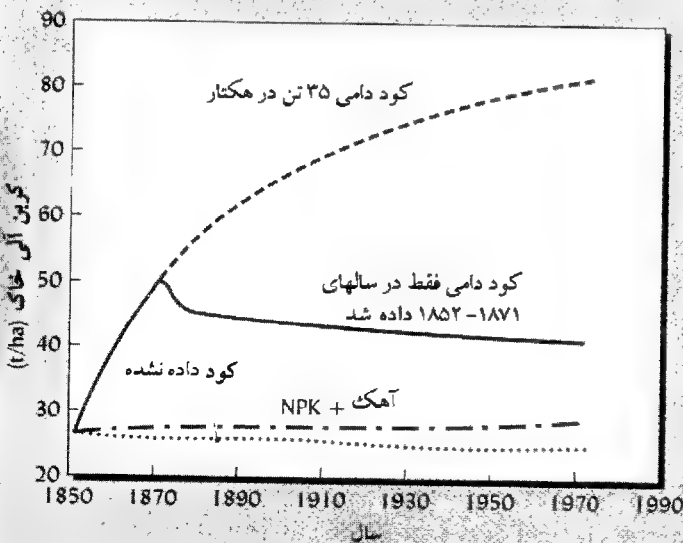
شرط احتیاط این است که، جمع‌بندی کنیم که خاک‌های زراعی هم دارای نیتروژن و هم ماده‌ی آلی پایین‌تری از خاک‌های مشابه بکر می‌باشند. این امر تعجب‌آور نیست، چه، تحت شرایط طبیعی تمام ماده‌ی آلی تولید شده به‌وسیله‌ی پوشش گیاهی به خاک برگردانده شده و خاک به‌وسیله‌ی شخم زیر و رو نمی‌شود. برعکس، در مناطق زراعی بیشتر مواد گیاهی برای غذای انسان و دام از زمین برداشت شده و مقدار کمی از آن مجدداً راه خود را به‌داخل خاک باز می‌یابد. به‌علاوه خاک‌ورزی سبب تهویه خاک و خرد شدن پسماندهای گیاهی و در دسترس قرار دادن آن‌ها برای تجزیه میکروبی می‌گردد.

تبدیل پوشش طبیعی به اراضی زراعی: وقتی خاک بکر به زیر کشت آورده می‌شود، کاهش بسیار سریعی در میزان ماده‌ی آلی آن صورت می‌گیرد. نهایتاً، تجمع و هدررفت ماده‌ی آلی به تعادل جدید رسیده و میزان ماده‌ی آلی خاک به سطح پایین‌تری تنزل پیدا خواهد کرد، این شیوه‌ی کاهش ماده‌ی آلی در شکل ۲۳-۱۲ الف، که تغییرات ماده‌ی آلی یک خاک چمن‌زار را در اولین قرن بعد از به‌زیر شخم در آوردن و اعمال نظام‌های مختلف کشت و کار، نشان می‌دهد تشریح گردیده است. کاهش مشابهی در ماده‌ی آلی، وقتی یک جنگل بارانی گرمسیری ریشه‌کن می‌شود مشاهده می‌گردد؛ هرچند هدررفت ممکن است به‌خاطر دمای بالا حتی سریع‌تر باشد. هدررفت ماده‌ی آلی در صورت تبدیل جنگل‌ها و یا علف‌زارها به تولید علوفه و مرتع چندان شدید نخواهد بود.

عملیات نوین خاک‌ورزی حفاظتی نگهداری میزان بالای ماده‌ی آلی خاک سطحی می‌شود (شکل ۲۴-۱۲ را مشاهده کنید). درمقایسه با خاک‌ورزی مرسوم، عملیاتی مانند خاک‌پوش کاه و کلش، خاک‌ورزی بدون هر نوع عملیات شخم و شیار^۱، سبب باقی‌ماندن بخش زیادی از پس‌ماندها در نزدیکی سطح خاک می‌شود. این فناوری خاک را از فرسایش مصون داشته و تجزیه‌ی پس‌ماندهای گیاهی را محدود می‌کند.



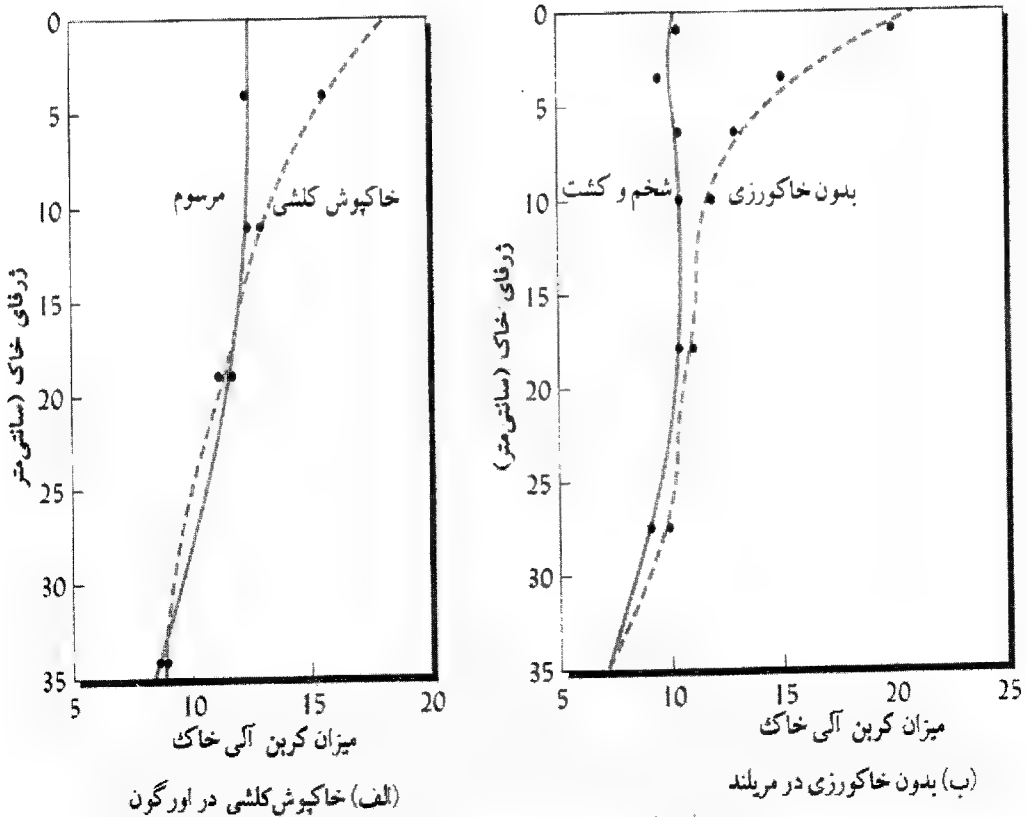
الف) کرت‌های Morrow



ب) Rothamstead

شکل ۲۳-۱۲ میزان کربن آلی تیمارهای مختلف (الف) کرت‌های مارو در دانشگاه ایملی‌نوی، (ب) آزمایش‌های کلاسیک در ایستگاه آزمایشی روتام استید انگلستان. کشت کرت‌های مارو در خاک‌های علف‌زار بکر از سال ۱۸۷۶ شروع گردید و در معرض کاهش سریع کربن آلی در سال‌های اول آزمایش قرار گرفت. کرت‌های روتام استید در خاک‌هایی که سابقه‌ی کشت طولانی قبلی داشتند استقرار یافت. در نتیجه خاک در ایستگاه رتام استید به تعادلی از کربن آلی رسید که مشخصه‌ی زراعت‌های غلات دانه‌ریز (گندم و جو) کود نخورده با کشت سنتی مرسوم در منطقه می‌باشد. بنابراین، تغییرات اندکی در میزان ماده‌ی آلی خاک در کرت‌های که در آن‌ها این تیمار به‌تنهایی تداوم داشت، صورت گرفت. توجه داشته باشید که در هر دو منطقه وقتی عملیات مصرف کود شیمیایی و یا کود دامی اعمال گردید، تغییرات قابل‌ملاحظه‌ای در کربن آلی فقط طی چند دهه مشاهده گردید. برای مثال وقتی آهک و کود شیمیایی به نصف مزرعه‌ی شاهد در کرت‌های مارو بعد از ۱۹۵۵ اضافه شد، این افزایش آهک و کود شیمیایی سبب برعکس شدن شیوه‌ی کاهش ماده‌ی آلی خاک (خطوط پریده را مشاهده کنید) گردید.

^۱ - No-tillage



شکل ۱۲-۲۴ تأثیر دو نظام خاک‌ورزی حفاظتی^۱ بر میزان کربن آلی خاک. مقایسه نظام خاک‌پوش کلشی با خاک‌ورزی تمیز^۲ در مولی سول‌ها (هابلوزول معمولی) بعد از ۴۴ سال که این عملیات برای زراعت گندم دیم در منطقه‌ی نیمه‌خشک اورگن انجام گرفت (اطلاعات از راسموسن ورود ۱۹۸۸). مقایسه نظام خاک‌ورزی بدون شخم و شیار با خاک‌ورزی مرسوم بعد از ۸ سال کشت ذرت بر روی یک خاک التی سول (تتیک هاپلادولت) در دشت‌های ساحلی منطقه مرطوب مریلند. هر دو روش شخم و شیار حفاظتی سبب باقی ماندن بخش بیشتر پس‌ماندها در سطح و یا نزدیکی سطح خاک گردیدند. نظام خاک‌ورزی فاقد عملیات نیز سبب باقی ماندن بقایا بدون به هم زدن آن‌ها گردید. در هر دو مورد بیشترین افزایش در ماده‌ی آلی در نزدیکی سطح خاک انجام گرفت.

تأثیر تناوب‌ها، پس‌ماندهای گیاهی و عناصر غذایی

شکل ۱۲-۲۳ نشان‌دهنده‌ی تغییرات در میزان ماده‌ی آلی خاک در کرت‌های آزمایش‌های طولانی مدت حاصلخیزی خاک، کرت‌های مارو دانشگاه ایلی‌نوی و آزمایش‌های کلاسیک مزرعه‌ای در روتام ایستید انگلستان می‌باشد. توالی کشت‌های مختلف با تیمارهای مصرف کود دامی، آهک و کود شیمیایی به ترتیب در سال‌های ۱۸۷۶، ۱۸۵۲ آغاز گردید. با توجه به اطلاعات موجود در شکل ۱۲-۲۳ می‌توان موارد زیر را استنتاج کرد:

۱- کرت‌های مارو:

الف: تناوب ذرت یولاف و شبدر سبب بالارفتن میزان ماده‌ی آلی در مقایسه با کشت متوالی ذرت به‌رغم میزان عناصر غذایی مصرف شده گردید، احتمالاً به‌خاطر این‌که در تناوب، خاک‌ورزی کمتر انجام گرفته، و بقایای ریشه بیشتری تولید شده بود.

ب: استفاده از کود دامی، آهک و فسفر سبب حفظ میزان ماده‌ی آلی، به‌خصوص در کرت‌هایی که دارای تناوب بودند گردید علت افزایش ماده‌ی آلی، استفاده از کود دامی، و پس‌ماندهای گیاهی فراوان در اثر عملکرد زیاد محصول بود.

^۱ - Conservation tillage

^۲ - Clean tillage

ج: استفاده از آهک و کودهای شیمیایی NPK در کرت‌هایی که قبلاً کود دامی و شیمیایی (از آغاز ۱۹۵۵) در آنها مصرف نشده بود، میزان ماده‌ی آلی خاک را احتمالاً به‌خاطر تولید و بازگشت مقادیر زیادی از پس‌مانده‌های گیاهی و اضافه‌کردن نیتروژن کافی برای تقویت کربن در تشکیل هموس به مقدار قابل‌توجهی افزایش داده است.

۲- آزمایش‌های روتام استید:

الف: تولید متوالی غلات دانه‌ریز و برداشت آنها تغییر و یا کاهش اندکی در میزان ماده‌ی آلی پایین قبلی ایجاد کرد. این نتیجه می‌توانست از قبل پیش‌بینی گردد زیرا خاک از قبل با میزان تجمع و برداشت کربن و نیتروژن که مختص تولید محصولات دانه‌ریز بدون مصرف کود شیمیایی می‌باشد به تعادل رسیده بود.

ب: کاربرد هر ساله‌ی کود دامی به میزانی که تمام نیتروژن مورد نیاز را برآورده کند، سبب افزایش خیلی شدید ماده‌ی آلی گردید تا این‌که تعادلی جدید در سطح خیلی بالاتر از میزان ماده‌ی آلی به‌دست آمد.

ج: در کرت‌هایی که فقط کود دامی برای ۲۰ سال اول آزمایش مصرف شده بود میزان ماده‌ی آلی به‌محض ترک مصرف کود شروع به کاهش کرد اما اثرات مثبت کود دامی بر میزان ماده‌ی آلی هنوز پس از یک‌صد سال آشکار می‌باشد.

نتایج حاصل از این کرت‌های آزمایشی مشهور جهانی روشن می‌سازد، خاک‌هایی که توان تولید آنها با مصرف کود شیمیایی، آهک و کود دامی و با انتخاب ارقام پر محصول زراعی در سطح بالا نگهداری می‌شود، احتمالاً دارای ماده‌ی آلی بیشتری از خاک‌های مشابه دارای توان تولید پایین می‌باشند. توان تولید بالا نه تنها به‌معنی عملکرد بالاتر گیاهان اقتصادی است، بلکه به‌معنی مقادیر زیاد بقایای ریشه و ساقه‌ی نبات نیز که به‌خاک برگردانده می‌شود، می‌باشد. با این حال، اکثر خاک‌های زراعی دارای توان تولید بالا احتمالاً از نظر ماده‌ی آلی به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای پایین تراز خاک‌های مشابه در زیر پوشش طبیعی می‌باشند. خاک‌های تحت آبیاری در مناطق کویری که در آن پوشش طبیعی اندک و پراکنده است از این قاعده مستثنی هستند.

توصیه‌های برای مدیریت ماده‌ی آلی خاک

درحالی‌که کربن کل نگهداری شده در خاک از نظر اثرات گلخانه‌ای جهانی مهم است، از نظر توان تولیدی و سایر نقش‌های بوم‌شناسی، رسیدن به یک سطح مشخص بالای ماده‌ی آلی بسیار کم اهمیت‌تر از نگهداری بخش قابل‌توجهی از ماده‌ی آلی به‌صورت فعال برای تداوم سوخت‌وساز زیستی جهت ارتقاء شخم‌آبی و چرخه‌ی عناصر غذایی می‌باشد. اصول کلی زیر در بسیاری از موارد برای مدیریت ماده‌ی آلی خاک قابل‌اعمال می‌باشند.

۱- تهیه‌ی مواد آلی و افزودن آن به‌طور مستمر به خاک برای حفظ سطح مناسب ماده‌ی آلی خاک، به‌ویژه بخش فعال آن باید انجام گیرد، پس‌مانده‌های گیاهی (ریشه‌ها و اندام‌های فوقانی)، کود دامی، کمپوست‌ها و فضولات آلی منبع اصلی این مواد آلی می‌باشند. گیاهان پوششی می‌توانند پوشش حفاظتی برای خاک ارائه نموده و ماده‌ی آلی به‌صورت کود سبز به خاک بیافزایند. تقریباً همیشه بهتر این است که سطح خاک دارای پوشش گیاهی باشد تا این‌که بدون پوشش باقی بماند.

۲- نباید تلاش کرد که سطح ماده‌ی آلی خاک از آن‌چه سازوکار خاک، گیاه و اقلیم به ما تحمیل می‌کند بالاتر باشد، برای مثال، ممکن است ۱/۵ درصد ماده‌ی آلی برای یک خاک شنی در اقلیم گرم سطح عالی باشد اما برای یک خاک بافت‌ریز در اقلیم سرد نشانه‌ی شرایط بسیار نامناسب است. ساده‌اندیشی خواهد بود که تلاش کنیم سطح ماده‌ی آلی در خاک لوم سیلتی دارای نفوذپذیری خوب در ایالت تگزاس به‌اندازه سطح مطلوب ماده‌ی آلی خاک مشابه در ایالت مینه‌سوتا ارتقاء یابد.

۳- به‌خاطر ارتباط بین نیتروژن خاک و ماده‌ی آلی، مقادیر کافی نیتروژن برای میزان ماده‌ی آلی بالا مورد نیاز است. به‌همین نحو، تلفیق نباتات خانواده نیام‌داران در تناوب زراعی، مصرف عاقلانه کود شیمیایی دارای نیتروژن برای بالابردن میزان تولید خاک دو اقدام مطلوب بوده، و همزمان با آن، اقداماتی برای به‌حداقل‌رساندن اتلاف نیتروژن طی آبشویی خاک‌رخ، فرسایش و یا تصعید باید به‌عمل آید (فصل ۱۳ را مشاهده کنید).

۴- حداکثر رشد گیاه سبب افزایش میزان مواد آلی اضافه‌شده به‌خاک به‌وسیله‌ی پس‌مانده‌های گیاهی می‌گردد. حتی اگر بخش‌هایی از پس‌مانده‌ها در حین برداشت محصول از بین برود، گیاهان دارای رشد زیاد، ریشه و پس‌مانده‌های اندام‌های فوقانی خود را به‌عنوان عمده‌ترین منبع ماده‌ی آلی در خاک باقی می‌گذارند. مصرف متعادل آهک و کودهای شیمیایی سبب از بین رفتن سمیت‌ها و کمبودهای عناصر شیمیایی می‌گردد که ممکن است موانعی را در مقابل رشد گیاه ایجاد کنند.

۵- از آن‌جاکه عملیات خاک‌ورزی سبب هدررفت ماده‌ی آلی هم با افزایش اکسایش و هم با افزایش فرسایش می‌شود، باید انجام آن فقط محدود به مهار علف هرز، و حفظ تهویه کافی خاک، باشد. عملیات خاک‌ورزی^۱ حفاظتی که انجام خاک‌ورزی را به حداقل می‌رساند اکثر پس‌مانده‌های گیاهی را در رو و یا نزدیک سطح خاک باقی می‌گذارد، بنابراین، میزان تجزیه‌ی پس‌مانده‌ها را کاهش داده و هدررفت ناشی از فرسایش را پایین می‌آورد. در طول زمان، خاک‌ورزی حفاظتی می‌تواند منجر به ایجاد سطوح بسالای ماده‌ی آلی گردد (شکل ۲۴-۱۲ را ملاحظه کنید).

۶- پوشش گیاهی چندساله، به‌ویژه در بوم‌سامان‌های طبیعی، تا آن‌جا که مقدور است تقویت و حفظ شوند. تولید محصولات کشاورزی با عملکرد فراوان در مزارع موجود باید ترغیب گردد تا آن اراضی که فعلاً حامی بوم‌سامان‌های طبیعی هستند نسبتاً دست‌نخورده باقی بمانند. به‌علاوه از خارج کردن زمین از کشت و کار و برگشت آن به پوشش طبیعی وقتی چنین اقدامی منطقی باشد نباید اکراه داشت. اراضی وسیعی که امروزه تحت کشت و کار می‌باشند نمی‌بایست هرگز از پوشش اصلی خود عاری می‌شدند. برنامه حفاظت^۲ منابع در آمریکا انگیزه‌هایی را برای انجام چنین اقداماتی فراهم کرده است (بخش ۱۴-۱۷ را مشاهده کنید).

۱۱-۱۲ خاک‌ها و اثر گلخانه‌ای

خاک‌ها از طریق تجزیه و تجمع کربن آلی اثر عمده‌ای بر ترکیب گازهای نیوار دارند. نکته اصلی در این مورد کربن موجود در ماده‌ی آلی خاک است، کربنی که از CO₂ موجود در نیوار منشاء گرفته است. وقتی ماده‌ی آلی خاک امکان کاهش یابد، CO₂ نیوار افزایش یافته و پیامدهای جهانی حادی را به دنبال خواهد داشت. تابلو ۳-۱۲، اهمیت ماده‌ی آلی را در ارتباط با تنظیم میزان CO₂ نیوار تشریح می‌کند.

گاز کربنیک: گاز کربنیک یکی از گازهای گلخانه‌ای در نیوار زمین است که باعث می‌شود نیوار همانند شیشه یک گلخانه عمل نموده، و زمین بسیار گرم‌تر از آنچه می‌بایست باشد گردد. همانند شیشه‌ی گلخانه این گازها اجازه می‌دهند تابش طول موج کوتاه آفتاب داخل گردیده و بسیاری از طول موج‌های تابشی بیرون رونده را به دام اندازد. این به دام انداختن گرما به‌وسیله‌ی نیوار، تعیین‌کننده اصلی دمای کره‌ی زمین و در نتیجه اقلیم است. بسیاری از دانشمندان عقیده دارند که دمای متوسط کره‌ی زمین در قرن گذشته ۰/۵ تا ۱ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است. اگر این افزایش در واقع صورت گرفته باشد، و اگر این شیوه تداوم یابد، ممکن است تغییرات عمده‌ای در توزیع بارندگی، طول دوره رشد، و ارتفاع سطح دریا طی قرن جاری صورت گیرد. گرچه، برآورد تغییرات در اقلیم کره‌ی زمین بر اثر عوامل مختلف مانند پوشش ابری، گرد و غبار آتشفشانی که می‌توانند در جذب حرارت گازهای گلخانه‌ای اثر بگذارند مبهم و غامض می‌باشد. درحالی‌که مشخص شده است که غلظت گازهای گلخانه‌ای در حال افزایش است، یقین کمی در مورد این‌که با چه سرعتی دمای کره‌ی زمین واقعاً در حال افزایش می‌باشد، وجود دارد.

بیشترین تلاش و سرمایه‌گذاری اخیراً به کاهش نقش انسان در تغییر اقلیم زمین معطوف گردیده است. دانش خاک می‌تواند نقش عمده‌ای در ارتباط با گرم شدن کره‌ی زمین ایفا کند. گازهای ایجادشده به‌وسیله‌ی فرایندهای زیستی همانند آن‌هایی که در خاک صورت می‌گیرد تقریباً نصف مسأله را به عهده دارد (شکل ۲۵-۱۲ را مشاهده کنید). از ۵ گاز عمده گلخانه‌ای فقط CFC^۳ انحصاراً دارای منشأ صنعتی می‌باشد. همان‌طور که قبلاً اشاره گردید بیشتر افزایش میزان گاز کربنیک در نیوار بر اثر کاهش خالص ماده‌ی آلی از نظام خاک است. نیوار کنونی دارای حدود ۳۷۰ ppm گاز CO₂ در مقایسه با ۲۸۰ ppm قبل از انقلاب صنعتی می‌باشد، که حاکی از افزایش ۰/۵ درصد در سال می‌باشد.

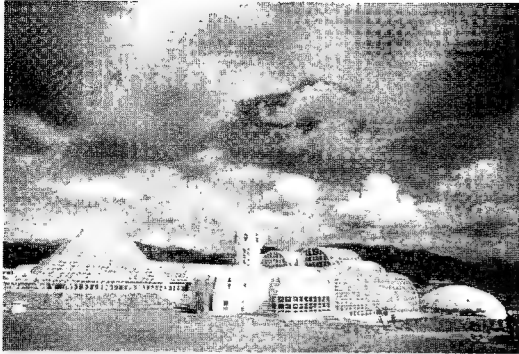
متان: متان تأثیر بسیار برجسته‌ای در اثرات گلخانه‌ای دارد، گرچه مقدار آن در نیوار بسیار کمتر از گاز کربنیک موجود است، هر مولکول متان حدود ۳۰ برابر هر مولکول گاز کربنیک در جذب تابش حرارتی زمین مؤثر می‌باشد. در سال ۱۹۹۰ حدود ۱/۷ ppm متان در نیوار موجود بود که دو برابر مقدار آن در سال‌های قبل از انقلاب صنعتی می‌باشد. میزان متان ۰/۶ درصد در هر سال افزایش می‌یابد. خاک‌ها هم به‌عنوان منشأ و هم به‌عنوان مقصد برای متان عمل می‌کنند، آنها هم CH₄ را از نیوار می‌گیرند و هم آن‌را به نیوار باز می‌گردانند.

¹ - Conservation tillage

² - Conservation Resources Program

³ - Chlorofluorocarbons

تابلو ۳-۱۲ چرخه کربن در مقیاس ریز

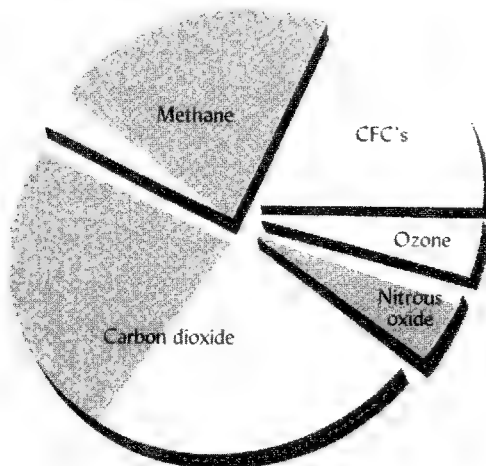


سازه زیست‌کره ۲ یک آزمایشگاه بزرگ و بسته‌ی بوم‌شناسی



متخصصین بیوسفر در حال کشت و تأمین غذای مورد نیاز خود در کشاورزی پرنهاده با خاک‌های اصلاح شده با کمپوست حاوی ماده‌ی آلی

تجربه‌ای جالب توجه در مورد اثرات جهانی پویایی ماده‌ی آلی خاک به وسیله‌ی ۸ متخصص کره زیستی^۱ با زندگی در کره زیستی - یک ساختمان شیشه‌ای ۱/۳ هکتاری در بیابان آریزونا به دست آمد. این سازه برای ایجاد یک بوم سامان خودکفا که در آن دانشمندان بتوانند به عنوان جزئی از زیست‌بوم زندگی و مطالعه کنند طراحی شده است. ساخت این سازه بیشتر از ۲۰۰ میلیون دلار هزینه در برداشته است. کره زیستی دارای یک اقیانوس کوچک با جزایر مرجانی، جنگل‌ها و مزارعی است که برای حفظ تعادل بوم‌شناسی طراحی شده است. هر چند متخصصین کره زیستی اوقات بسیار بدی برای کشت و تأمین غذای کافی برای خود داشتند. نیوار آنها چنان به زودی از اکسیژن تخلیه و از گاز کربنیک غنی گشت که مهندسین مجبور شدند اکسیژن را با پمپ به داخل فرستاده و دستگاهی برای تمیز کردن هوا از گاز کربنیک در آن تعبیه کنند. آشکار شد که بوم سامان با قراردادن خاک غنی از ماده‌ی آلی در کره زیستی از نظم دقیق خارج شده است. طراحان میزان تجزیه‌ی ماده‌ی آلی را هنگام قرار گرفتن در یک محیط گرم و مرطوب که به وسیله‌ی عملیات خاک‌ورزی تهویه گردیده بود از میزان واقعی کمتر برآورد کرده بودند. تجزیه‌ی ماده‌ی آلی خاک به وسیله‌ی میکروب‌های هوازی خاک انجام گرفت که در طی آن اکسیژن را مصرف و گاز کربنیک را هنگام تنفس خارج می‌سازند.



شکل ۲۵-۱۲ تأثیر نسبی گازهای مختلف در اثرات گلخانه‌ای کره‌ی زمین. بخش‌های هاشورخورده بیانگر انتشار حاصل از نظام‌های زیستی است (در آنها خاک نقش دارد) بخش‌های سفید ناشی از صنایع است.

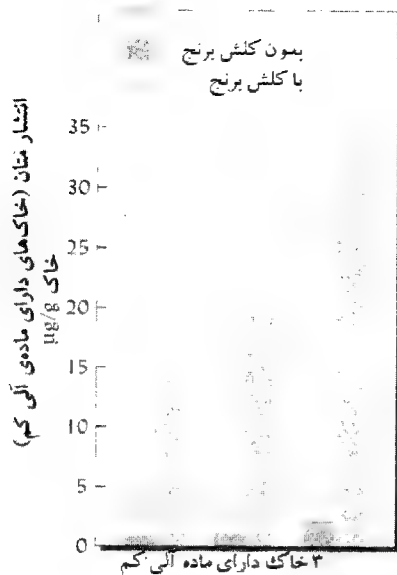
وقتی خاک‌ها دارای تهویه ضعیف باشند، موردی که در برنج‌زارها و اراضی ماندابی صادق است، به‌جای گاز کربنیک متان از تجزیه‌ی مواد آلی به‌وسیله‌ی ریزجانداران خاک حاصل می‌شود (فصل ۲-۱۲ را مشاهده کنید). میزان تولید متان در خاک‌های مرطوب بسیار وابسته به کربن قابل‌اکسایش چه در ماده‌ی آلی خاک و چه در پس‌مانده‌های گیاهی برگشت داده شده به آن می‌باشد (شکل ۲۶-۱۲). ممکن است میزان متان ارائه شده به نیوار از این خاک‌ها همچنین با سرشت و مدیریت نباتاتی که بر روی آنها رشد می‌کنند تنظیم شود. برای نمونه، ۷۰ تا ۸۰ درصد متان آزاد شده از خاک‌های غرقابی از طریق ساقه‌ی برنج و یا علف‌های طبیعی مرداب به نیوار باز می‌گردد. در خاک‌های دارای تهویه‌ی خوب ممکن است موربانه‌های خاکزی مقادیر زیادی متان تولید کنند (بخش ۵-۱۱ را مشاهده کنید). این فرایند زیستی عامل بیرون‌فرستادن بیشتر متان به نیوار می‌باشد.

بعضی از باکتری‌های متان‌خوار^۱ آنزیم متان‌مواکسیژناز^۲ تولید کرده که به آنها اجازه می‌دهد متان را به‌عنوان منبع انرژی اکسیده کنند.

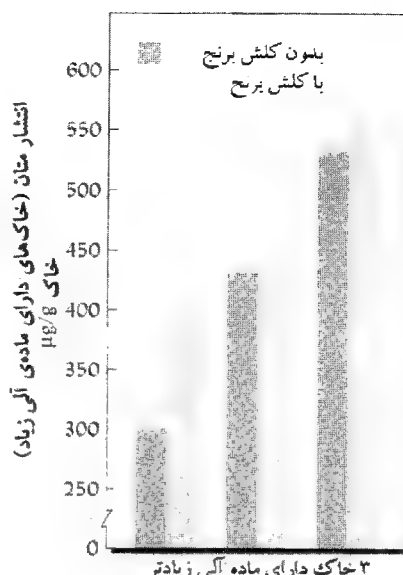


این واکنش، که به‌طور وسیعی در خاک‌ها انجام می‌شود سبب کاهش بار گازهای گلخانه‌ای جهانی با از بین رفتن سالانه ۱ میلیارد تن متان می‌باشد. متأسفانه، استفاده مداوم از کودهای شیمیایی نیتروژن (مخصوصاً آمونیوم) در اراضی زراعی، مراتع و جنگل‌ها نشان داده است که ظرفیت اکسایش متان خاک را می‌کاهد. شواهد نشان می‌دهند که قابلیت استفاده سریع آمونیوم از کودهای شیمیایی سبب می‌شود که باکتری‌های اکسیدکننده آمونیوم به‌جای باکتری‌های اکسیدکننده متان تحریک گردند. آزمایش‌های طولانی‌مدت در انگلستان و آلمان مشخص می‌سازند که تأمین نیتروژن در شکل آلی (مانند کود دامی) سبب ارتقاء ظرفیت خاک برای اکسایش متان می‌گردد (جدول ۷-۱۲).

اکسید نیترو (N_2O) یک گاز گلخانه‌ای دیگر است که به‌وسیله‌ی ریزجانداران از خاک‌ها با تهویه ضعیف تولید می‌شوند، اما از آن‌جاکه در چرخه‌ی کربن دخیل نمی‌باشند در فصل بعد (بخش ۹-۱۳) مورد بحث قرار خواهد گرفت. از آن‌جاکه خاک می‌تواند به‌عنوان یک مبداء و یا مقصد برای گاز کربنیک، متان، اکسیدنیترو عمل کند، روشن است که مدیریت خاک همراه با اقداماتی برای تغییر فراورده‌های صنعتی می‌تواند نقش عمده‌ای در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای داشته باشد.



(الف)



(ب)

شکل ۲۶-۱۲ گرم شدن کروی زمین با آزاد شدن متان از خاک‌های دارای تهویه ضعیف در حال افزایش است. متان یک گاز گلخانه‌ای با توان گرم کردن نیوار حدود ۳۰ برابر گاز کربنیک می‌باشد. خاک‌های برنج‌زارهای غرقابی فاقد اکسیژن برای بیشتر از ۲ میلیارد نفر غذا تأمین می‌کنند، اما عامل انتشار $\frac{1}{2}$ متان در مقیاس جهانی هستند. آزاد شدن متان با افزودن ماده‌ی آلی، افزایش می‌یابد. چه در خاک دارای کلش (ستون‌های سفید) و چه خاک بدون کلش (ستون‌های هاشورخورده). به مقیاس متفاوت برای خاک‌های دارای ماده‌ی آلی کم (الف) با خاک‌های دارای ماده‌ی آلی زیاد (ب) توجه کنید.

^۱ - Methanotrophic

^۲ - Methan oxygenase

جدول ۷-۱۲ اثر نظام‌های مدیریت حاصلخیزی نیتروژن در اکسایش متان در یک خاک زراعی (مولی‌سول) در آلمان: چهار تیمار نیتروژن سالانه برای مدت ۹۲ سال در یک تناوب چغندرقد، جو بهاره، سیب‌زمینی و گندم پاییزه مصرف شدند، اندازه‌گیری بر روی خاک در بهار قبل از مصرف سالانه‌ی نیتروژن به‌عمل آمده توجه کنید کود دامی سبب افزایش اکسایش متان گردید، درحالی‌که کود نیتروژن معدنی (نترات آمونیوم) میزان اکسایش متان را از تیمار شاهد و تیمار کود آلی کمتر ساخت.

تیمارخاک	pH خاک	نیتروژن نتراتی Kg/ha خاک	نیتروژن آمونیاکی خاک Kg/ha	میزان اکسایش متان $\text{nL CH}_4 \text{ L}^{-1} \text{hr}^{-1}$
۱- هیچ نیتروژنی در هر شکلی مصرف نشده است	۶/۸	۰/۸۳	۰/۲	۴/۶
۲- کود نیتروژن ۱۳۰-۴۰ کیلوگرم نیتروژن در نترات آمونیم برای برآورد نیاز نبات	۶/۹	۱۵/۳۶	۳/۱	۱/۳۴
۳- کود دامی به مقدار ۲۰ تن در هکتار	۷/۰	۱/۹۸	۰/۲۲	۱۱/۲
۴- کود دامی به‌انضمام کود شیمیایی همانند ردیف ۳	۷/۲	۵/۰۱	۰/۷۱	۳/۷۶

۱۲-۱۲ خاک‌های آلی (هیستوسول‌ها)

بحث‌های انجام شده تا حال در مورد ماده‌ی آلی در خاک‌های معدنی معطوف گردیده بود. در تحت شرایط ماندابی در مرداب و باتلاق‌ها اکسایش پس‌مانده‌های گیاهی چنان متوقف گردیده و مقدار آنها چنان تجمع یافته است که خصوصیات خاک تحت سیطره خصوصیات ساده‌ی آلی خاک قرار می‌گیرد. اگر این خاک‌ها بیشتر از ۳۰-۲۰ درصد ماده‌ی آلی در رابطه با میزان رس داشته باشند. خاک‌های آلی نامیده شده و در راسته‌ی هیستوسول قرار می‌گیرند (فصل ۳ را مشاهده کنید). ماده‌ی آلی در هیستوسول‌ها ممکن است شامل پیت^۱ و یا ماک^۲ باشد. پیت‌ها باقیمانده‌های گیاهی رشته‌ای و تا حدی تجزیه شده بوده که دارای رنگ قهوه‌ای می‌باشند که در تولید گیاهان گلدانی به‌کار می‌رود (تابلو ۱۲-۴). ماک از مواد گرد مانند سیاه‌رنگ که در آن تجزیه بسیار کامل‌تر انجام گرفته تشکیل شده و ماده‌ی آلی در آن هموسی شده است.

هیستوسول‌ها چه تحت کشت و کار و چه به‌صورت طبیعی خود (اغلب در اراضی مرطوب غرقابی قرار دارند) دارای خصوصیات منحصربه‌فرد بوده که حاصل میزان ماده‌ی آلی بالای آنها می‌باشد. آنها دارای رنگ قهوه‌ای تیره با وزن مخصوص بسیار پایین ($0.2-0.4$ مگاگرم در متر مکعب) و ظرفیت نگهداری آب ۲ تا ۳ برابر وزن خشک خود می‌باشند. ظرفیت تبادل کاتیونی هیستوسول‌ها بر اساس وزن (نه بر اساس حجم) معمولاً از رس‌های معدنی بیشتر است (جدول ۸-۱۲). به‌رغم نسبت C/N نسبتاً بالا (به‌طور متوسط ۲۰:۱) در مقایسه با خاک‌های معدنی که ۱۲:۱ می‌باشد) در هیستوسول‌ها میزان معدنی شدن بالا بوده که به آزاد شدن نترات‌ها بعد از زه‌کشی آنها منجر خواهد شد. ظاهراً اکثر کربن پیت‌ها از نوع غیرفعال بوده و به حمله میکروب‌های خاک بسیار مقاوم می‌باشند، مقدار کل ماده‌ی آلی در این خاک‌ها چنان زیاد است که حتی تجزیه مقدار اندکی از آن سبب آزاد شدن مقادیر قابل توجهی نیتروژن معدنی خواهد شد.

هیستوسول‌ها (و هیستل^۳، خاک‌های دارای یخ‌بندان دایمی با افق سطحی آلی) در تعادل چرخه کربن دارای اهمیت می‌باشند، زیرا هرچند آنها حدود یک درصد مساحت کره‌ی زمین را پوشش داده‌اند اما تقریباً ۲۰ درصد کربن خاک‌های جهان را به خود اختصاص داده‌اند. در حالی‌که زه‌کشی هیستوسول‌ها آنها را برای کشت سبزی‌ها و گل‌کاری بی‌نهایت ارزشمند می‌سازد، سبب تسریع اکسایش ماده‌ی آلی نیز می‌شود که در طول زمان سبب تجزیه‌ی هیستوسول‌ها و افزایش آزاد شدن گاز کربنیک به نیوار می‌شود (بخش ۲۷-۱۲ را مشاهده کنید)، برای محافظت این خاک‌ها سطح آب زیرزمینی تا آن‌جا که مقدور است باید نزدیک سطح زمین نگهداری شود.

هیستوسول‌ها ممکن است در تنظیم تغییرات اقلیم در طولانی مدت نقش تعیین‌کننده داشته باشند. افزایش گاز کربنیک نیوار سبب بالا رفتن دمای زمین، بالا آمدن آب دریاچه‌ها و ذوب شدن سریع کلاهک‌های یخ قطبی گردد. افزایش سطح دریا دارای دو پیامد می‌باشد که می‌تواند با اثرات افزایش CO_2 در طبیعت مقابله کند. اول، حجم بیشتر آب در دریاها می‌تواند سبب جذب CO_2 بیشتری شود، دوم بالا رفتن آب اقیانوس‌ها اراضی ساحلی بیشتری را به‌زیر آب خواهد برد که خود سبب ایجاد شرایطی برای تشکیل هیستوسول‌ها در باتلاق‌های

^۱ - Peat

^۲ - Muck

^۳ - Histels

جزر و مدی خواهد شد. تجمع ماده‌ی آلی در این هیستوسول‌های تازه تشکیل شده خود نشانه‌ی مصادره‌ی مقادیر زیادی CO₂ از نیوار می‌باشد. ممکن است جذب این مقدار CO₂ به کاهش روند و سرعت گرم‌شدن کرمی زمین کمک کند.

جدول ۸-۱۲ حداکثر ظرفیت تبادل کاتیونی یک کلویید آلی و چندین کلویید معدنی: براساس وزن، CEC هموس به‌مراتب بیشتر از کانی‌های دیگر است. اما بر اساس حجم، دو کانی ورمی‌کولیت و اسمکتیت دارای CEC بالاتر از هموس می‌باشند.

ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)		نوع کلویید
بر اساس وزن cmol c/kg	بر اساس حجم cmol c/L	
۳۰۰	۷۵	هموس (کلویید آلی)
۱۲۰	۱۵۰	ورمی‌کولیت
۹۰	۱۱۳	اسمکتیت
۲۵	۳۱	میکای دانه‌ریز
۵	۶	کانولینیت
۳	۴	هیدراکسیدها

تابلو ۴-۱۲ مواد آلی برای محیط‌های گلدانی

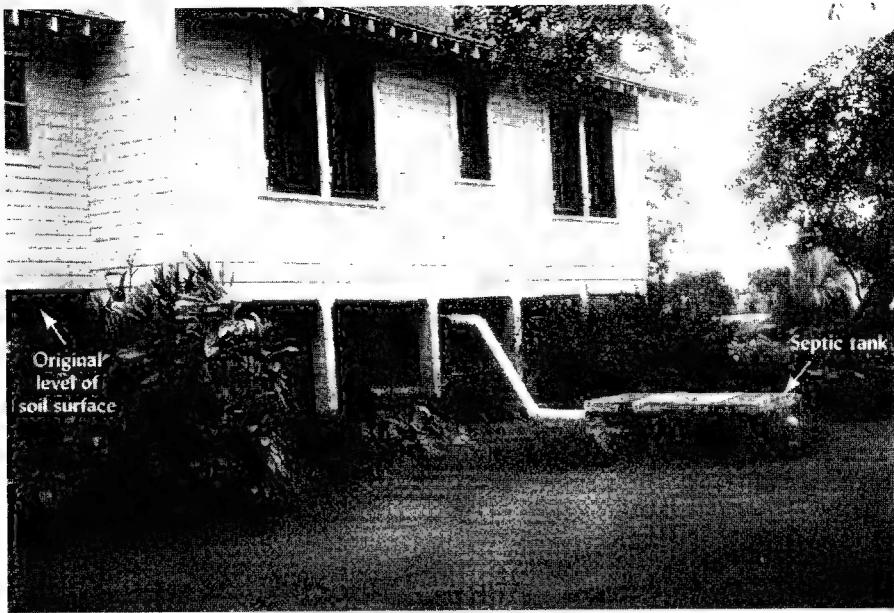
اهمیت اقتصادی گیاهانی که در محفظه‌ها رشد می‌کند (تولید جمعی) در سال‌های اخیر بسیار افزایش یافته است. گیاهان کشت‌شده در محفظه‌ها، برای خزانه‌های جنگلی، تولید گیاهان در شاسی، کشت گیاهان زینتی در محیط بسته، عناصر معماری زمین‌نما^۱ و آزمایش‌های علمی گلخانه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. همان‌طور که در فصل‌های ۴، ۵، ۷ و ۱۰ بیان گردید، کشت گیاهان در گلدان‌های کوچک و یا سایر محفظه‌ها مسایل خاصی را مطرح می‌کند که در کشت مزرعه‌ای گیاهان با آن مواجه نمی‌باشیم. بیشتر مسایل مربوط به ریشه‌دوانی محفظه‌ای دارای سرشت فیزیکی بوده و عمدتاً شامل آب و هوا و دما می‌باشد. پیت و سایر مواد آلی سبک وزن دارای ظرفیت نگهداری آب بالا و منافذ تهویه‌ای درشت می‌باشند. مواد آلی همچنین دارای ظرفیت تبادل کاتیونی قابل‌ملاحظه‌ای برای نگهداری عناصر غذایی قابل‌استفاده گیاه هستند.

ضایعات آلی پایدار شده از طریق کمپوست‌کردن به‌عنوان مکمل اصلی در مخلوط گلدانی به‌طور روزافزون مورد استفاده می‌باشند. علاوه بر مزایایی که در مورد پیت گفته شد مواد کمپوست‌شده ممکن است سبب آزادشدن نیتروژن و سایر عناصر غذایی در حین تجزیه آرام شوند. استفاده از کمپوست ایجادشده از ضایعات آلی مانند لجن فاضلاب، کود مرغی و یا اشغال شهری نه‌تنها یک منبع قابل‌تجزیه ارزان قیمت گلدانی را برای گلخانه‌ها فراهم می‌کند، بلکه سبب حل مشکلات دفع ضایعات نیز خواهد شد. اگرچه استفاده از پیت معادن در مقادیر زیاد هنوز در تولید گیاهان جمعی‌ای ادامه دارد.

پیت‌ها که در مخلوط‌های گلدانی به‌کار می‌روند از رسوباتی که خاک‌های هیستوسول در آن تشکیل شده به‌خصوص از مناطق سرد استخراج می‌شوند. ۳ نوع پیت به‌طور کلی مشخص شده است که عبارتند از: رشته‌ای، چوبی و رسوبی. پیت‌های رشته‌ای برای مخلوط‌های گلدانی مطلوب‌ترین نوع می‌باشند. این پیت‌ها دارای ظرفیت آب قابل‌استفاده بسیار بالایی هستند. آن‌ها ممکن است ۱۰ تا ۲۰ برابر وزن خشک خود (۲ تا ۴ برابر حجمی) آب را نگهداری کنند. بعضی از پیت‌های رشته‌ای (پیت خزه‌ای) به‌دلیل پایین‌بودن خاکستر آن (مواد معدنی) کاملاً اسیدی می‌باشند.

استفاده از پیت در اروپا و امریکای شمالی شغل پردرآمدی است. علاوه بر مصرف آن‌ها در گلدان‌ها همچنین به‌صورت خاک‌پوش در باغچه‌های خانگی و چمن‌ها مصرف می‌شوند. گلدان‌های رشته‌ای درست‌شده از پیت‌ها برای شروع رشد گیاه مورد استفاده قرار می‌گیرند، که بعدها بدون نیاز به خارج کردن گیاه از گلدان، ثابت در داخل خاک نشاء می‌گردد. نهشته‌های پیت همچنین به‌طور گسترده‌ای برای سوخت (پس از خشک‌شدن) مصرف می‌شوند، به‌خصوص در اتحاد جماهیر شوروی سابق و در جمهوری ایرلند، که سوخت بعضی از نیروگاه‌های تولید برق از پیت تأمین می‌شود. متأسفانه، این فعالیت‌ها یک استفاده پایدار از منابع هیستوسول نمی‌باشد.

^۱ - Landscape architecture



شکل ۲۷-۱۲ فرونشینی خاک بر اثر تجزیه سریع ماده‌ی آلی بعد از انجام زه‌کشی مصنوعی در خاک‌های هیستوسول در اورگلید فلوریدا. منزل هم‌سطح با زمین ساخته‌شده و مخزن سپتیک (فاضلاب) در عمق ۱ متری زیر سطح خاک دفن گردیده بود. در طول مدت ۶۰ سال بیشتر از ۱/۲ متر ماده‌ی آلی خاک ناپدید گردید هدررفت به‌ویژه به دلیل اقلیم گرم فلوریدا شدید بود، اما زه‌کشی مصنوعی که سبب پایین‌بردن سطح آب زیرزمینی شده و به‌طور مداوم افق‌های بالای خاک را خشک می‌کند یک روش نامناسب در هر خاک هیستوسول می‌باشد.

۱۳-۱۲ نتیجه‌گیری نهایی

ماده‌ی آلی یک جزء فعال و پیچیده‌ی خاک است که تأثیر عمده‌ای بر رفتار، خصوصیات و نقش خاک در بوم‌سامان اعمال می‌کند. به‌خاطر کربن فوق‌العاده زیاد ذخیره شده در ماده‌ی آلی و سرشت پویای این جزء خاک، مدیریت خاک می‌تواند یک وسیله مهم برای متعادل کردن اثرات گلخانه‌ای جهانی باشد.

تجزیه‌ی ماده‌ی آلی، آزادشدن عناصر غذایی و تشکیل هموس به‌وسیله‌ی عوامل محیطی و کیفیت مواد آلی اداره می‌شود، مقادیر زیاد لگنین و پلی‌فنل همراه با نسبت بالای C/N فرایند تجزیه را به‌طور مشخص کاهش داده و سبب تجمع ماده‌ی آلی و درعین حال کاهش قابلیت استفاده عناصر، می‌گردد.

به‌دلایل چندی، مفید خواهد بود که مدیریت تجزیه‌ی ماده‌ی آلی در خارج از خاک در فرایندی که کمپوست‌کردن نامیده می‌شود، انجام گیرد، کمپوست‌کردن سبب تغییر شکل و تبدیل مواد مختلف زاید آلی به یک محصول هموس مانند می‌شود که می‌تواند به‌عنوان ماده‌ی اصلاح‌کننده‌ی خاک، و یا جزیی از مخلوط گلدانی مورد استفاده قرار گیرد. تجزیه‌ی هوازی در یک توده‌ی کمپوست می‌تواند سبب حفظ عناصر غذایی، ضمن اجتناب از مسایل خاص مانند بوهای نامطبوع، وجود مقادیر اضافی و یا کمبود نیتروژن محلول گردد، که در صورت مصرف‌کردن فضولات آلی تازه به‌طور مستقیم در خاک می‌تواند صورت پذیرد.

ماده‌ی آلی خاک از سه مخزن عمده ترکیبات آلی تشکیل شده است، بخش فعال شامل زیتودی میکروبی و ترکیباتی با تجزیه‌ی آسان مانند پلی‌ساکاریدها، و سایر مواد غیرهومیکی می‌باشد. اگرچه این بخش فقط درصد اندکی از کربن کل می‌باشد، نقش عمده‌ای در چرخه عناصر غذایی، کیلاتی‌کردن عناصر کم‌مصرف، حفظ پایداری ساختمانی و شخم‌آبی خاک‌ها داشته و به‌عنوان منبع غذایی سبب استحکام و بقای تنوع و فعالیت زیستی در خاک‌ها می‌شود.

بیشتر ماده‌ی آلی در مخزن غیرفعال قرار دارد که شامل مواد بسیار پایداری است که در مقابل یورش میکروبی مقاومت کرده و ممکن است برای قرن‌ها در خاک دوام داشته باشد، این بخش تبادل کاتیونی و ظرفیت آب قابل استفاده را به عهده دارد، اما از نظر زیستی بدون اثر است. بخش آرام ماده‌ی آلی در پایداری و مقاومت در مقابل تجزیه در حالت بینابین قرار دارد، این بخش منابع غذایی و انرژی را برای سوخت‌وساز پایدار جانداران بومی خاک که در فواصل زمانی بین مصرف پس‌مانده‌های گیاهی موجودیت پیدا می‌کنند فراهم می‌سازد. وقتی

خاک از پوشش طبیعی عاری شد و به‌زیر کشت درآمد، کاهش اولیه در ماده‌ی آلی خاک سبب مصرف بخش فعال خواهد شد. بخش غیرفعال فقط به‌تدریج و در ایام بسیار طولانی تخلیه خواهد شد.

نسبت کربن به نیتروژن (C/N) اکثر خاک‌ها تقریباً ثابت، و معمولاً نزدیک ۱۲:۱ است این بدان معناست که میزان ماده‌ی آلی تا حدی به‌وسیله‌ی نیتروژن قابل استفاده برای هضم میکروبی و تبدیل آن به هموس مشخص می‌گردد، مدیریت خاک برای ارتقاء سطح ماده‌ی آلی بنابراین باید شامل راه‌هایی برای تأمین نیتروژن مثل استفاده از نباتات نیام‌دار باشد.

میزان ماده‌ی آلی تحت تأثیر اقلیم (در مناطق سرد و مرطوب مقدار آن بیشتر است)، زه‌کشی (در خاک‌های زه‌کشی ضعیف زیاده‌تر است)، و نوع پوشش گیاهی است (معمولاً در زیتوده ریشه مانند علف گندمیان بیشتر است).

نگهداری ماده‌ی آلی خاک، به‌خصوص بخش فعال در خاک‌های معدنی یکی از بزرگ‌ترین چالش‌ها در مدیریت منابع طبیعی در سراسر جهان می‌باشد، با تقویت رشد شدید نبات زراعی و یا سایر گیاهان، بقایای فراوانی (که شامل نیتروژن و کربن می‌باشد) را می‌توان به‌طور مستقیم یا از طریق احشام مصرف‌کننده‌ی علوفه به زمین بازگرداند. همچنین با محدودکردن خاک‌ورزی، مهار فرسایش و حفظ اکثر پس‌مانده‌های گیاهی در سطح و یا نزدیکی سطح خاک، میزان تجزیه‌ی ماده‌ی آلی می‌تواند به‌حداقل برسد.

خاک‌های آلی (هیستوسول‌ها) سهم بزرگی از ماده‌ی آلی جهانی را دارا می‌باشند. این خاک‌ها نسبت به آب و هوا بسیار نفوذپذیر بوده و می‌توانند مقدار بیشتری آب و کاتیون‌ها را نسبت به خاک‌های معدنی در هکتار نگهداری کنند. زه‌کشی این خاک‌ها، درحالی‌که امکان استفاده از آنها را برای تولید سبزی‌های پرارزش و گل‌کاری فراهم می‌کند، سبب اکسایش تسریعی ماده‌ی آلی آنها و آزادشدن CO_2 به مقدار زیاد می‌گردد.

تجزیه و معدنی‌شدن ماده‌ی آلی یکی از فرایندهای اصلی حاکم بر اقتصاد گوگرد و نیتروژن در خاک‌هاست که در فصل بعد مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

سوالات برای مطالعه

- ۱- مقدار کربن موجود در پوشش گیاهی زمین را با خاک‌ها و نیوار مقایسه کنید.
- ۲- اگر بخواهید یک ماده‌ی آلی را به خاک بیفزایید که سبب ایجاد خاک‌پوش پایدار در روی خاک کند. شما ماده‌ی آلی با چه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی را انتخاب خواهید کرد؟
- ۳- تشریح کنید که چگونه اضافه‌کردن انواع خاصی از مواد آلی به خاک‌ها می‌تواند یک دوره‌ی کساد نیترات را سبب گردد. ارتباط آن با رشد نبات چیست؟
- ۴- علاوه بر مواد هومیکی چه گروه‌هایی از مواد آلی در خاک‌ها پیدا می‌شوند؟
- ۵- بعضی از دانشمندان، لاشبرگ گیاهی (بقایای سطحی) را در تعریف خود از ماده‌ی آلی منظور و بعضی دیگر منظور نمی‌دارند. دو جمله کوتاه بنویسید که در یکی ضمیمه نمودن و در دیگری حذف پوشش گیاهی را به‌عنوان ماده‌ی آلی توجیه می‌کند.
- ۶- چه خصوصیتی از خاک به‌وسیله‌ی بخش فعال ماده‌ی آلی به‌طور عمده تحت تأثیر قرار می‌گیرد؟
- ۷- در این کتاب و جاهای دیگر ماده‌ی آلی خاک و کربن آلی خاک معمولاً به‌معنی یکسان آورده شده‌اند. ارتباط این واژه‌ها به‌طور کمی و مفهومی چگونه است؟ چرا واژه کربن آلی معمولاً برای بحث علمی کمی مناسب‌تر است؟
- ۸- با واژه‌های تعادل بین دست‌آورد و هدررفت، تشریح کنید چرا خاک‌های کشاورزی معمولاً دارای سطح کمتری از کربن آلی در مقایسه با خاک‌های مشابه تحت پوشش طبیعی می‌باشند؟
- ۹- از چه طریقی خاک‌ها در اثرات گلخانه‌ای و گرم‌شدن کروی زمین دخیل هستند، روش‌های معمول مدیریت خاک که می‌توانند برای کاهش آثار منفی و افزایش آثار مثبت در اثرات گلخانه‌ای مؤثر باشد کدامند؟
- ۱۰- چه علتی سبب فرونشینی هیستوسول‌ها می‌شود چگونه این پدیده در ارتباط با استفاده از هیستوسول‌ها می‌باشد؟

اقتصاد نیتروژن و گوگرد در خاک

نیتروژن و گوگرد به عنوان عناصر اساسی رشد نبات در بعضی از خصوصیات مهم مشترک می باشند. هر دو عمدتاً در خاکها به صورت آلی یافت می شوند. هر دو در داخل خاکها و نباتات عمدتاً به صورت آنیون حرکت می کنند، و هر دو در مسایل جدی آلودگی زیست محیطی دخیل می باشند. بنابراین آن‌ها با هم مورد مطالعه قرار خواهند گرفت. اول با نیتروژن شروع می کنیم.

در مقایسه با دیگر عناصر غذایی معدنی، بیشترین هزینه و تلاش در مورد مطالعه و مدیریت نیتروژن مصرف گردیده و خواهد گردید، دلیل خوب این است که: بوم سامان جهانی احتمالاً بیشتر از هر عنصر غذایی اصلی در معرض کمبود و زیادبود نیتروژن می باشد. نباتات زراعی گرسنه از نظر نیتروژن و با رنگ سبز متمایل به زرد کم رنگ، افت محصول، از بین رفتن منابع مالی و گرسنگی را برای مردم در تمام گوشه های جهان پیش گوئی خواهد کرد. همین طور کمبود نیتروژن در بین نباتاتی که در شرایط طبیعی رشد می کنند، شایع می باشد. به خصوص هنگامی که تثبیت زیستی نیتروژن از نیوار به وسیله ریز جانداران خاص وجود نداشته، و یاز چرخ بخش عمده ای از نیتروژن جذب شده از بوم سامانان طبیعی صورت نگیرد، کمبود نیتروژن می تواند گسترده تر باشد.

زیادی نیتروژن در خاکها می تواند اثرات منفی بر سلامت انسان یا حیوانات داشته و کیفیت محیط زیست را به تباهی بکشانند. مقادیر زیاد نیتروژن در خاک می تواند سبب بالا رفتن مقدار نیترات در آب آشامیده شده و زندگی نوزادان انسانها و حیوانات نشخوارکننده را به خطر اندازد. به همین دلیل است که میزان نیترات در چاهها، مخازن و سایر منابع تأمین آب آشامیدنی مورد پایش قرار می گیرد. همین طور، حرکت ترکیبات محلول نیتروژن از خاک به سامانه های آبی می تواند تعادل این سامانه ها را به هم زده و سبب غنی شدن^۱، کاهش میزان اکسیژن آب و مرگ بعدی ماهی ها و دیگر گونه های آبزیان گردد.

نیتروژن یک جزء مهم از پروتئین بوده و به خاطر اهمیت تغذیه ای و نادر بودن نسبی پروتئین، به وسیله اکثر حیوانات از جمله انسانها به شدت مورد درخواست می باشد. تأمین نیتروژن کافی برای تولیدات کشاورزی اغلب عمده ترین هزینه را در برگرفته و همین طور ساخت کودهای بیایی نیتروژن دار بخش عمده ای از مصرف سوختهای فسیلی را در بخش کشاورزی شامل می شود. مسیر دیگر که نیتروژن را به محیط گسترده تر وصل می کند فرایند تخریب ازن به وسیله گاز اکسید نیترو می باشد که در خاک تولید می شود. روشن است که برای مدیریت چرخه نیتروژن در خاک سرمایه های بوم شناختی، مالی، و محیطی بسیار زیاد است.

۱-۱۳ اثرات نیتروژن بر رشد و توسعه نباتات

نقش نیتروژن در گیاهان: نیتروژن یکی از اجزای تشکیل دهنده در بسیاری از ترکیبات اصلی گیاهی است. بخش عمده ای از اسید آمینه ها را تشکیل می دهد که سازنده ی واحدهای ساختمانی پروتئین، از جمله آنزیم ها می باشند که تمام فرایندهای حیاتی را اداره می کنند. سایر ترکیبات نیتروژن دار مهم گیاهی شامل اسید نوکلئیک (که در آن اداره ی توارث صورت می پذیرد) و سبزینه می باشد که در قلب فرایند سوخت و ساز نوری قرار دارد. نیتروژن همچنین برای مصرف کربوهیدرات ها در داخل گیاه اساسی است. تأمین مناسب نیتروژن سبب تحریک رشد و توسعه ریشه و همین طور جذب سایر عناصر غذایی می گردد.

گیاهان به افزایش قابلیت استفاده نیتروژن به سرعت واکنش نشان می دهند. این عنصر سبب تحریک رشد رویشی قسمت های هوایی نبات گردیده و به برگ ها رنگ سبز تیره می دهد. نیتروژن سبب افزایش پرشدن دانه ی غلات، میزان پروتئین هم در بذور هم در برگ ها شده، و سبب شادابی برگ های نباتاتی مانند کاهو و تربچه می شود. نیتروژن می تواند توان تولید نباتات را، چه به صورت عملکرد محصول نبات بر حسب تن، حجم الوار، ظرفیت چرای مرتع، و یا ضخامت چمن، به طور فوق العاده تقویت کند. شاخ و برگ سالم نباتات معمولاً دارای ۲/۵ تا ۴ درصد نیتروژن در ماده ی خشک بر حسب سن برگ و نیام دار بودن نبات می باشد.

کمبود: نباتات دارای کمبود نیتروژن دارای رنگ سبز متمایل به زرد کم رنگ (کلروز)^۲، ظاهری کم رشد و ساقه های باریک می باشند (تابلوهای رنگی ۲۲ و ۲۳). گیاهان دارای کمبود نیتروژن دارای پروتئین کم و میزان قند زیاد می باشند، زیرا نیتروژن کافی برای ترکیب با تمام

^۱- Eutrophication

^۲-Chlorosis

زنجیره‌های کربن که معمولاً برای ایجاد پروتئین لازم است، موجود نمی‌باشد، نیتروژن در داخل نبات کاملاً متحرک^۱ (به آسانی جابه‌جا می‌شود) بوده. و وقتی جذب آن به‌وسیله گیاه ناکافی باشد، فرآورده‌های موجود در نبات به برگ‌های جدید انتقال یافته و سبب می‌گردد که در برگ‌های مسن مشخص‌ترین علائم زردی (کلروز) آشکار گردد. بنابراین برگ‌های مسن گیاهان دارای کمبود نیتروژن ابتدا به رنگ زرد برگشته و احتمالاً قبل از رسیدن کامل خزان کرده و سقوط کنند (شکل ۱-۱۳، الفوب). گیاهان دارای کمبود نیتروژن اغلب دارای نسبت ساقه به ریشه‌ی اندک بوده و با سرعت بیشتری از گیاهان سالم می‌رسند. اثرات منفی کمبود نیتروژن بر اندازه و قدرت نبات اغلب بسیار شدید می‌باشد (شکل ۱-۱۳ ج).

زیادبود نیتروژن: وقتی نیتروژن به‌مقدار خیلی زیاد مصرف گردد، رشد رویشی شدید خواهد بود، یاخته‌های ساقه‌ی گیاهان طویل اما نسبتاً ضعیف می‌گردند و گیاهان با بخش فوقانی سنگین درصورت مواجه با باران و باد شدید در معرض خوابیدن (ورس‌کردن)^۲ قرار می‌گیرند (شکل ۱-۱۳ د)، ممکن است مصرف زیاد نیتروژن رسیدن نبات را به تأخیر انداخته و سبب گردد که نبات به امراض (به‌خصوص امراض قارچی) و آفت حشرات حساس گردد. این مسایل درصورت تأمین اندک سایر عناصر غذایی مانند پتاسیم شدید خواهد بود.

وقتی تأمین بیش از حد نیتروژن به مسایل مورد اشاره قبلی منجر نشود میزان عملکرد نبات ممکن است بالا بوده اما کیفیت محصول اغلب پایین می‌باشد. رنگ و مزه میوه نامطلوب گردیده، قند و میزان ویتامین سبزی‌ها و گیاهان ریشه‌ای نیز کاهش می‌یابد. تولید گل در نباتات زینتی کاهش یافته و میزان برگ‌ها بسیار فراوان خواهد بود. در شرایط خاص، مصرف بیش از حد نیتروژن ممکن است سبب تجمع نیتروژن در بافت‌های گیاهی به‌صورت نترات به‌جای تشکیل پروتئین گردد. معلوم گردیده‌است که استفاده از این برگ‌های غنی از نترات به‌صورت علوفه برای احشام، و استفاده از آن به‌صورت سبزی‌های برگی برای اطفال زیان‌بار می‌باشد.

میزان نیتروژنی که می‌تواند به‌وسیله گیاهان به‌طور مفید مورد استفاده قرار گیرد، در بین گونه‌های گیاهی متفاوتست، بسیاری از علف‌ها و سبزی‌های برگی برای رشد بهینه نیازمند مقدار زیادی نیتروژن می‌باشند. چه گیاهان خود از نظر مصرف زیاد نیتروژن دچار صدمه قرار گرفته و یا نگرفته باشند، مسأله عمده توان اثرات منفی میزان بالای نیتروژن بر محیط‌زیست است که باید همواره مورد ملاحظه قرار گیرد (بخش‌های ۱۳-۸ و ۱۳-۹ و ۱۶-۲ را مشاهده کنند)

اشکال مختلف جذب نیتروژن به‌وسیله گیاهان: ریشه‌ی گیاهان نیتروژن را از محلول خاک عمدتاً به‌صورت یون‌های نترات (NO_3^-) (و آمونیوم (NH_4^+) جذب می‌کنند*. اگرچه بعضی از گیاهان درصورت تأمین هریک از این دو ترکیب نیتروژن دارای بهترین رشد می‌باشند، مخلوطی از این دو شکل با نسبت‌های یکسان در اکثر گیاهان بهترین نتیجه را می‌دهد. یون‌های نترات (یون دارای بار منفی) به آسانی بر اثر جریان آب به‌طرف ریشه‌ها حرکت نموده و به سهولت برای جذب گیاه قابل استفاده می‌باشد. برعکس یون‌های آمونیوم (یون‌ها دارای بار مثبت) به آسانی کمتری به‌طرف ریشه‌ها حرکت کند، زیرا به‌وسیله یون‌های بارهای منفی کلویید خاک عمدتاً نگهداری می‌شوند. اثر این دو یون درآسیدته ریزوسفر متفاوت است. آنیون‌های نترات در سطح ریشه با یون‌های HCO_3^- و OH^- مبادله گردیده و درنتیجه سبب افزایش pH محلول خاک در اطراف ریشه می‌شوند، برعکس کاتیون‌های آمونیوم در سطح ریشه با یون H^+ مبادله و بنابراین سبب کاهش pH محلول خاک در اطراف ریشه می‌شوند. (شکل ۲-۱۳)، اثرات شاخص این دو یون را در pH محیط ریشه مشخص می‌سازد که اثر آن نیز در جذب سایر یون‌های همراه مانند فسفات‌ها پدیده‌ای شناخته شده است.

۲-۱۳ منشاء و توزیع نیتروژن

حدود ۳۰۰۰۰۰ مگاگرم (تن) نیتروژن در بالای یک هکتار زمین یافت می‌شود. به‌نظر می‌رسد نیوار که دارای ۷۸٪ نیتروژن گازی (N_2) است یک منبع بی‌پایان از این عنصر باشد.** پیوند سه‌تایی بسیار محکم بین دو اتم نیتروژن ($\text{N} \equiv \text{N}$) سبب بی‌اثر بودن این گاز و عدم استفاده مستقیم از آن به‌وسیله گیاهان و حیوانات می‌باشد. گرچه همان‌طورکه در بخش ۱۰-۱۳ خواهیم دید، بعضی از ریزجانداران خاص می‌توانند این پیوند سه‌تایی را شکسته و ترکیبات زیستی را از نیتروژن موجود در هوا فراهم آورند. اگر این ریزجانداران توانایی این کار را نداشتند پوشش گیاهی در بوم‌سامان‌های خاکی تنک‌تر و میزان نیتروژن موجود در خاک کمتر می‌گردید.

^۱-Mobile

^۲-Lodging

* نیتريت (NO_2^-) نیز می‌تواند به‌وسیله گیاه جذب شود. این یون برای گیاه سمی می‌باشد. خوشبختانه میزان این یون به‌ندرت از مقادیر جزئی در خاک بالاتر می‌رود.

** حدود ۹۸ درصد نیتروژن خاک در سنگ‌های آذرین قرار دارد که در بخش‌های عمیق پیوسته جای گرفته و به‌طور موثر فاقد ارتباط با محیط خاک، گیاه، و هوا که ما در آن زندگی می‌نماییم می‌باشد. بنابراین توجه خود را به ۲ درصد باقیمانده که در چرخه زیست‌کره قرا دارد معطوف می‌داریم.



(الف)



(ب)

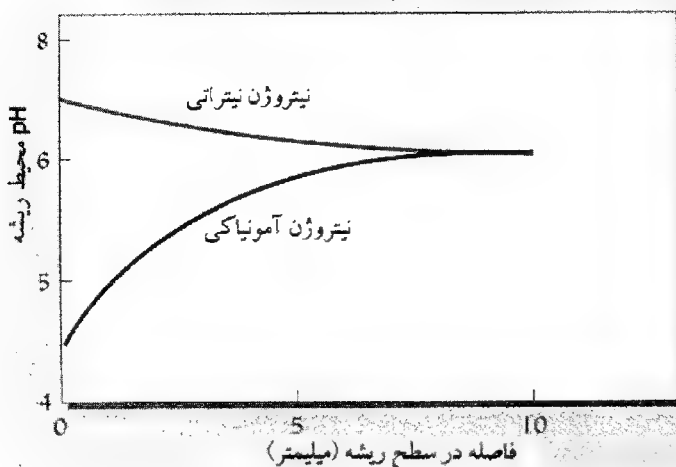


(ج)



(د)

شکل ۱-۱۳. بعضی از اثرات نیتروژن بسیار کم، و بسیار زیاد در نباتات. (الف) برگ‌های پیر خارجی در این نبات اسفناج که در خاک‌های شنی التی‌سول دارای نیتروژن کم رویده دچار کلروز شده است. (ب) در این برگ‌های پیر نبات ذرت دچار کمبود نیتروژن (برگ‌های فوقانی عادی است) زردشدن از نوک برگ شروع گردیده و به‌طرف پایین تا رگ‌برگ میانی ادامه داشته است شیره‌ای که مختص کمبود نیتروژن در ذرت است. (ج) نبات لوبیای دچار کمبود نیتروژن (راست) کلروز شاخص را در برگ‌های پایین و توقف رشد مشخص را در مقایسه با نبات عادی در چه نشان می‌دهد. (د) ارقام برنج مستی نسبتاً بلند قد آسیایی در مزرعه سمت چپ به‌خاطر مصرف زیاد کود شیمیایی نیتروژن‌دار دچار شده است. در مزرعه سمت راست زارع یک رقم جدید برنج کاشته است که با میزان نیتروژن زیاد عملکرد خوبی دارد زیرا ساقه آن کوتاه بوده و دارای کلش سفتی می‌باشد.



شکل ۲-۱۳ اثرات شاخص جذب یونهای NH_4^+ و NO_3^- به وسیله گیاه در اسیدیته ریزوسفر با زیاد شدن فاصله از سطح ریشه. وقتی یونهای NH_4^+ جذب می شوند آن‌ها با یونهای H^+ در سطح ریشه مبادله و یونهای H^+ در داخل محلول رها گردیده و سبب کاهش pH محیط می شوند. همین طور جذب نترات سبب مبادله با یونهای HCO_3^- و OH^- می گردد که سبب افزایش pH ریزوسفر می شود.

میزان نیتروژن خاک‌های سطحی معدنی معمولاً ۰/۲ تا ۰/۵ درصد می باشد. رقم ۰/۱۵ درصد معرف خاک‌های تحت کشت و کار است. یک هکتار از این خاک‌ها احتمالاً دارای ۳/۵ مگاگرم نیتروژن در افق A و شاید ۳/۵ مگاگرم اضافی دیگر در لایه‌های عمیق‌تر باشد. در خاک‌های جنگلی لایه لاشبرگ (افق O) ممکن دارای ۱ تا ۲ مگاگرم نیتروژن دیگر باشد. درحالی که این ارقام درمقایسه با نیتروژن نیوار پایین است. خاک ۱۰ تا ۲۰ برابر بیشتر از پوشش موجود (از جمله ریشه‌ها) در اراضی جنگلی و زراعی دارای نیتروژن می باشد. بیشترین مقدار نیتروژن در بوم سامان‌های زمینی در خاک یافت می شود.

اکثر از خاک به صورت بخشی از مولکول‌های ماده‌ی آلی خاک می باشد، ماده‌ی آلی خاک به طور نمونه شامل ۵ درصد نیتروژن است، بنابراین، توزیع نیتروژن خاک در ارتباط نزدیک با ماده‌ی آلی خاک می باشد (بخش ۳-۱۲ را مشاهده کنید). به خاطر ارتباط با رس‌های سیلیکاتی خاص و یا اسید هومیک‌های مقاوم، ترکیبات نیتروژن دار آلی از تجزیه‌ی سریع میکروبی مصون می مانند. به طور شاخص سالانه ۲ تا ۳ درصد نیتروژن در ماده‌ی آلی خاک به صورت نیتروژن معدنی آزاد می شود.

نیتروژن معدنی به استثنای مواردی که مقادیر زیادی کود شیمیایی مصرف شده باشد، به ندرت بیشتر از ۱ تا ۲ درصد نیتروژن کل خاک را شامل می گردد. برخلاف اکثر نیتروژن آلی، اشکال معدنی نیتروژن عمدتاً در آب محلول بوده و ممکن است به آسانی طی عمل آبشویی^۱ و تصعید^۲ از خاک خارج گردند.

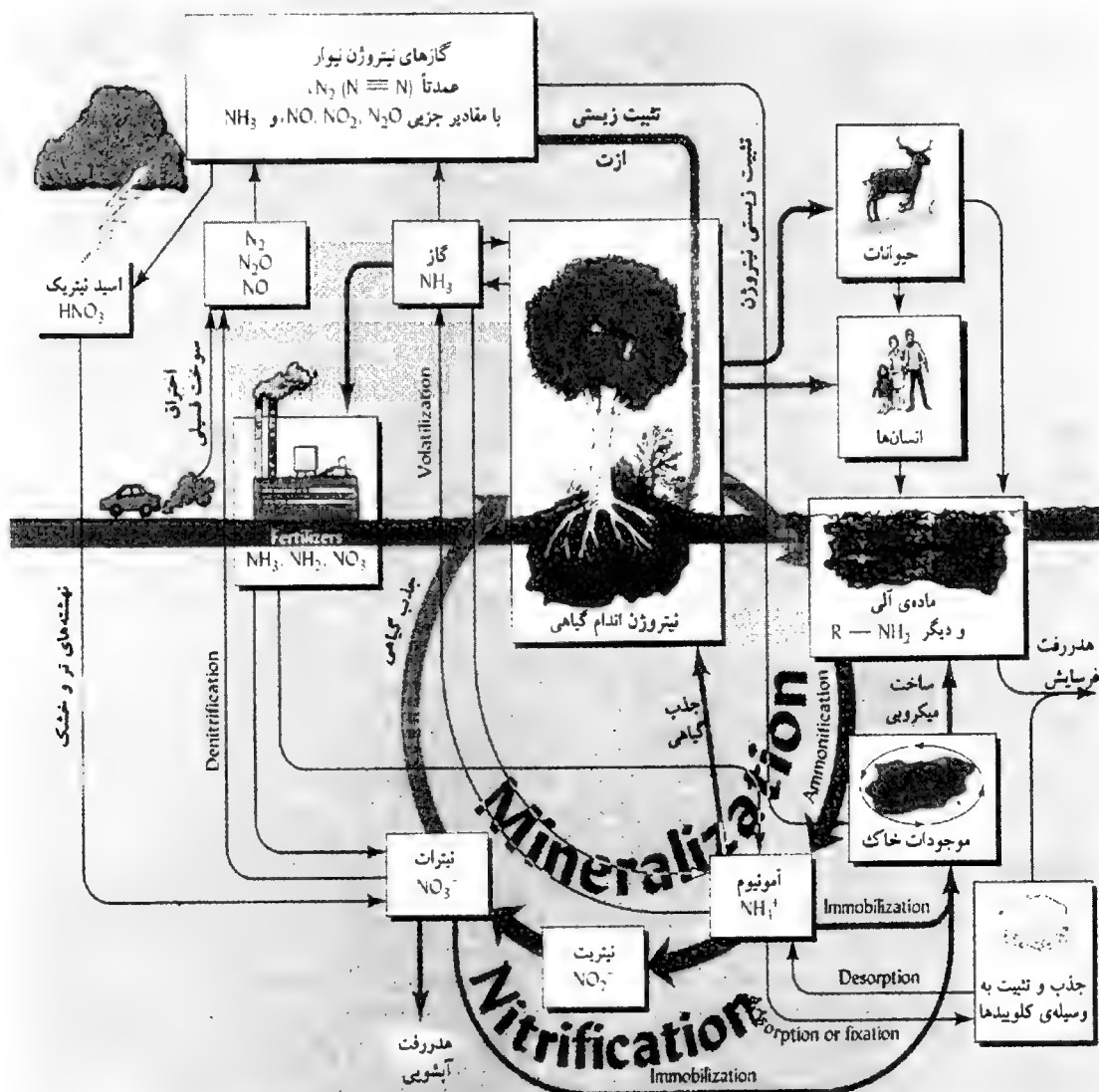
۳-۱۳ چرخه‌ی نیتروژن

طی حرکت در چرخه نیتروژن، یک اتم نیتروژن ممکن است در اشکال مختلف شیمیایی هر یک با خصوصیات، رفتار و پیامدهای خاص خود در بوم سامان ظاهر گردند. سرشت چرخه‌ای این فرایند توضیح می دهد که چرا پوشش گیاهی (و حیوانات به طور غیرمستقیم) می تواند به برداشت نیتروژن از خاک برای قرن‌ها بدون تخلیه خاک از این عنصر حیاتی ادامه دهد. زیست کره^۳ هیچ وقت از نیتروژن خالی نخواهد شد زیرا همان نیتروژن را بارها و بارها مورد استفاده قرار می دهد. چرخه‌ی نیتروژن از مدت‌ها قبل مورد مطالعه علمی فراوان قرار گرفته است، زیرا فهم جابه جایی و تغییر شکل این عنصر برای حل بسیاری از مسایل زیست محیطی، کشاورزی و منابع طبیعی اساسی می باشد. منابع و اشکال اصلی نیتروژن، و فرایندهای که با آن در تعامل قرار می گیرند، در شکل ۳-۱۳ تشریح شده است. این شکل بایسته مطالعه‌ی دقیق می باشد. ما به این شکل هنگام بررسی بخش‌های مختلف چرخه مرتباً مراجعه خواهیم کرد.

^۱-Leaching

^۲-Volatilization

^۳-Biosphere



شکل ۳-۱۳ چرخه‌ی نیتروژن با تأکید چرخه‌ی اصلی (پیکان‌هایی تیره‌رنگ پهن) که در آن نیتروژن به‌صورت معدنی در می‌آید. گیاهان نیتروژن معدنی را جذب کرده و نهایتاً به‌صورت نیتروژن آلی در پس‌مانده‌های گیاهی به خاک بر می‌گردانند. همچنین به مسیرهایی که طی آن نیتروژن خاک از بین رفته و راه‌هایی که جبران می‌شود، توجه کنید. حجه‌ها معرف اشکال مختلف نیتروژن و پیکان‌ها معرف فرایندهایی است که در آن یک شکل نیتروژن به شکل دیگر تبدیل می‌شود. نیتروژن آمونیومی در چرخه نیتروژن در معرض ۵ سرنوشت است (۱) عدم تحرک (آلی شدن) به‌وسیله‌ی ریزجانداران (۲) برداشت بر اثر جذب گیاهی^۱ (۳) تثبیت یون آمونیوم در بین لایه‌های بعضی از کانی‌های ۲:۱ رسی^۲ (۴) بازگشت یون‌های آمونیوم به‌صورت بخار آمونیاک به نیوار^۳ و (۵) یون‌های آمونیوم ممکن است طی فرایند میکروبی که نیتراشی شدن نام دارد به نیتريت و سپس به نیترات اکسیده گردند. نیتروژن در شکل نیتراتی در خاک و طبیعت بسیار پویا می‌باشد، عرضه نیترات چه به‌صورت دادن کود و چه تولید آن در اثر فرایند نیتراشی شدن در خاک ممکن است در یکی از چهار مسیر در چرخه نیتروژن قرار گیرد (۱) عدم تحرک به‌وسیله‌ی ریزجانداران^۱ (۲) برداشت بر اثر جذب گیاه (۳) هدررفت یون نیترات به‌وسیله‌ی آبشویی در زهاب^۴ (۴) بخارشدن و برگشتن به نیوار به‌صورت گازهای حاوی نیتروژن

- 1-Immobilization
- 2-Plant uptake
- 3-Ammonium fixation
- 4-Volatilization
- 5-Nitrification
- 6-Microorganisms
- 7-Leaching

تابلو ۱-۱۳ محاسبه معدنی شدن نیتروژن

اگر میزان ماده‌ی آلی خاک، عملیات مدیریت خاک، اقلیم و بافت خاک معلوم باشند، امکان یک تخمین تقریبی از میزان N که هر سال احتمالاً معدنی می‌شود، وجود دارد. معادله زیر می‌تواند به کار رود:

$$\frac{\text{KgN min}}{15\text{cm/ha}} = \left\langle \frac{\text{A Kg SOM}}{100 \text{ Kg S}} \right\rangle \left\langle \frac{\text{B Kg S}}{15\text{cm/ha}} \right\rangle \left\langle \frac{\text{C Kg N}}{100\text{Kg SOM}} \right\rangle \left\langle \frac{\text{D Kg SOMmin}}{100 \text{ Kg SOM}} \right\rangle$$

که در آن :

(A): مقدار ماده‌ی آلی خاک (SOM) در افق A بر حسب Kg ماده‌ی آلی در ۱۰۰ کیلوگرم خاک (S)، این رقم ممکن است از حدود صفر تا بیشتر از ۷۵ درصد (در خاک هیتوسول) متغیر باشد (بخش ۱۲-۱۲ را مشاهده کنید). ارقام بین ۰/۵ تا ۵ درصد معمول می‌باشند. از رقم ۲/۵ درصد (۲/۵ کیلوگرم ماده‌ی آلی در ۱۰۰ کیلوگرم خاک) برای مثال زیر استفاده کنید.

(B): وزن خاک (S) در هکتار در عمق افق A. بیشتر نیتروژن مصرف‌شده به وسیله‌ی نباتات احتمالاً از افق سطحی (A) تأمین می‌شود. اگر افق سطحی (A)، ۱۵ سانتی‌متر عمق داشته باشد، $10^6 \times 2/2$ کیلوگرم یک تخمین معقول از وزن آن در هکتار است. فصل ۵-۱۴ را برای محاسبه وزن یک افق سطحی (A) که وزن مخصوص ظاهری آن مشخص است مشاهده کنید. از عدد $10^6 \times 2/2$ کیلوگرم برای وزن یک هکتار با عمق ۱۵ سانتی‌متر در مثال زیر استفاده کنید.

(C): مشخص می‌کند که ماده‌ی آلی نمونه (SOM) حدود دارای چند درصد نیتروژن (N) است (فصل ۳-۱۲ را مشاهده کنید). فرض کنید ۵ درصد نیتروژن برای مثال زیر معقول باشد.

(D): بیانگر مقدار معدنی شدن ماده‌ی آلی خاک (SOMmin) که احتمال دارد در یک سال در یک خاک مشخص معدنی شود، می‌باشد. این رقم وابسته به بافت خاک، اقلیم و عملیات مدیریتی است. ارقامی در حدود ۲ درصد برای خاک‌های بافت ریز یک شاخص می‌باشد. درحالی‌که ارقامی در حدود ۳/۵ درصد شاخص خاک‌های درشت بافت مناسب می‌باشد. ارقام کمی بزرگ‌تر شاخص اقلیم‌های گرم‌تر و ارقام کمی پایین‌تر شاخص اقلیم‌های سردتر می‌باشند. در مثال زیر از رقم ۲/۵ کیلوگرم ماده‌ی آلی معدنی شده در ۱۰۰ کیلوآن استفاده کنید. میزان نیتروژن که ممکن است بر اثر معدنی شدن در طول یک فصل زراعی شاخص آزاد شود، با جای‌گذاری ارقام مشخص شده فوق‌الذکر در معادله عبارتست از:

$$\frac{\text{KgNm}}{15\text{cm/ha}} = \left\langle \frac{2.5}{100} \right\rangle \left\langle \frac{2.2 \times 10^6}{1} \right\rangle \left\langle \frac{5}{100} \right\rangle \left\langle \frac{2.5}{100} \right\rangle = 68.75 \text{ Kg/h}$$

سهمی نیز از لایه‌های پایین این خاک قابل انتظار است که میزان کل نیتروژن معدنی شده را در منطقه ریشه این خاک در طول یک فصل زراعی به بیش از ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار برساند. اکثر معدنی شدن در طول فصل رشد نبات که خاک به‌طور نسبی گرم و مرطوب است، صورت می‌گیرد.

این محاسبات نیتروژن معدنی شده را که هر سال، از خاکی که در آن مقادیر زیاد بقایای آلی اضافه می‌شود، برآورد می‌کند. کود دامی، بقایای خانواده نام‌داران و سایر مواد اصلاح‌کننده آلی خاک غنی از نیتروژن، بسیار سریع‌تر از ماده‌ی آلی بومی خاک معدنی می‌شوند و بنابراین میزان نیتروژن قابل استفاده را در خاک به‌میزان قابل توجهی بالا می‌برد.

۴-۱۳ آلی شدن^۱ و معدنی شدن^۲

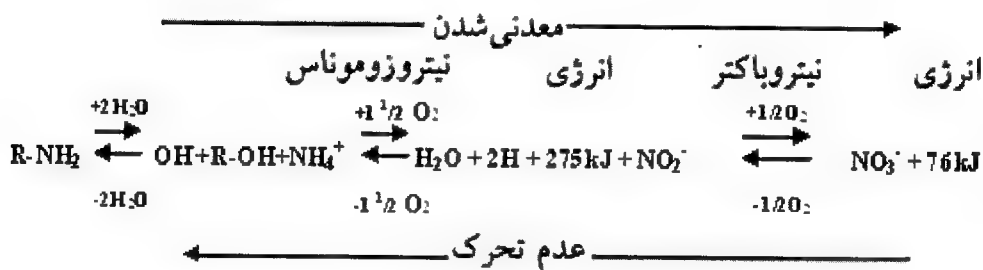
بخش بزرگی (۹۹-۹۵ درصد) از حجم نیتروژن خاک در ترکیبات آلی قرار داشته که آن را از هدررفت مصون و عمدتاً به‌صورت غیرقابل استفاده برای گیاهان در خاک باقی می‌گذارد. بیشتر نیتروژن در ماده‌ی آلی به‌صورت گروه‌های آمین R-NH_2 عمدتاً در پروتئین و بخشی از ترکیبات هومیکی قرار دارد. وقتی این ترکیبات آلی مورد تهاجم ریزجانداران خاک قرار می‌گیرند ترکیبات ساده آمین^۳ (R-NH_2) تشکیل می‌شوند. سپس، گروه‌های آمین آبکافت شده و نیتروژن به‌صورت یون آمونیوم (NH_4^+) آزاد گردیده، که می‌تواند به‌شکل نترات اکسایش یابد.

^۱ -Immobilization

^۲ -Mineralization

^۳ -اسید آمینه‌ها، مانند لیزین $(\text{CH}_2\text{NH}_2\text{COOH})$ و آلانین $(\text{CH}_3\text{CHNH}_2\text{COOH})$ نمونه‌های از این ترکیبات ساده هستند. R در این فرمول‌ها معرف بخشی از مولکول آلی است که همراه با گروه آمین‌ها است. برای نمونه R در لیزین CH_2COOH است.

این تبدیل نیتروژن در پیوند آلی به اشکال معدنی (NO_3^- , NH_4^+) معدنی شدن نام دارد (شکل ۳-۱۳). اگرچه یک مجموعه کامل از واکنش ها در این فرایند وجود دارد اثر خالص را می توان به آسانی مشاهده کرد. انواع گسترده ای از موجودات خاک ماده ی آلی را آبکافت کرده و به ترکیبات ساده تبدیل نموده و نهایتاً NO_3^- , NH_4^+ تولید می کنند. فرایند آنزیمی می تواند با استفاده از ترکیبات آمینی (R-NH_2) به عنوان یک منبع آلی نیتروژن به صورت زیر باشد.



مطالعات بسیاری نشان داده اند که فقط حدود ۱/۵ تا ۲/۵ درصد نیتروژن آلی هر خاک سالانه معدنی می شود. با این وجود، معدنی شدن سبب تأمین نیتروژن معدنی کافی برای رشد عادی پوشش طبیعی (جنگل و مرتع) در اکثر خاک ها، به استثنای خاک های دارای میزان ماده ی آلی کم مانند خاک های بیابانی شنی می باشد. در اراضی زراعی با مصرف کود شیمیایی نشان دار مشخص شده است (ردیابی نیتروژن پرتوزا) که نیتروژن معدنی شده خاک بخش عمده ای از نیتروژن جذب شده به وسیله ی گیاه را شامل می باشد. اگر میزان ماده ی آلی یک خاک معلوم باشد، فرد می تواند یک تخمین سرانگشتی از مقدار نیتروژنی که احتمالاً به وسیله ی معدنی شدن در یک فصل رشد مشخص آزاد می شود، به عمل آورد (تابلو ۱-۱۳).

عکس معدنی شدن، آلی شدن است، و آن عبارت از تبدیل یون های نیتروژن معدنی (NO_3^- و NH_4^+) به اشکال آلی می باشد (شکل ۳-۱۳ را مشاهده کنید). وقتی پس ماند های آلی کربن دار وارد خاک می گردد، در شرایط مساعد (رطوبت، دما و تهویه) به وسیله ی ریز جانداران خاک تجزیه می شود. رشد جماعات میکروبی ممکن است به نیتروژن بیشتری از آنچه در خود بقایا وجود دارد نیازمند باشد (پس ماند های گیاهی با نسبت C/N بالا). بنابراین، ریز جانداران اجباراً نیتروژن معدنی خاک را برای بازسازی اجزای یاخته ای خود، مانند پروتئین ها به کار می برند. وقتی این موجودات می میرند، بخشی از نیتروژن آلی به همتافت رس هموس تبدیل و بخشی نیز به صورت یون های NO_3^- و NH_4^+ آزاد می شوند. دو فرایند عدم تحرک و معدنی شدن همزمان در خاک انجام می شود. اثر خالص در افزایش و یا کاهش نیتروژن قابل استفاده عمدتاً در ارتباط با نسبت C/N پس ماند های گیاهی مورد تجزیه می باشد (به بخش ۳-۱۲ مراجعه کنید).

۵-۱۳ تثبیت آمونیوم به وسیله ی کانی های رسی^۱

همانند سایر کاتیون ها، آمونیوم جذب سطوح دارای بار منفی کلئید های رسی و هموسی گردیده و به صورت قابل تبادل نگهداری می شود، که برای جذب نبات قابل استفاده بوده اما از آبشویی تاحدی محفوظ می ماند. به خاطر اندازه یون های NH_4^+ و (همچنین K^+) می توانند در حفره های ساختاری ۶ وجهی سیلیس در بلور های کانی های رسی خاص محبوس شوند (شکل ۳-۱۳ را مشاهده کنید). کانی های متعدد رسی با ساختار ۲:۱ دارای تثبیت آمونیوم و پتاسیم بدین شیوه هستند (شکل ۳۰-۱۴ را مشاهده کنید). ورمیکولیت دارای بیشترین ظرفیت تثبیت بوده و بعد از آن میکای دانه ریز و رس های گروه اسمکتیت می باشند. یون های K^+ و NH_4^+ تثبیت شده در بخش های صلب یک ساختار بلوری به صورت غیر قابل تبادل می باشد و برای گیاهان و ریز جانداران با تانی آزاد می شوند. تثبیت آمونیوم به وسیله ی کانی های رسی در خاک تحت الارض معمولاً بیشتر از خاک سطحی است. زیرا میزان رس در آنها بیشتر است (جدول ۱-۱۳). در خاک ها دارای میزان قابل ملاحظه رس ۲:۱ میزان تثبیت در لایه های سطحی ۵ تا ۱۰ درصد و در لایه های عمقی ۴۰-۲۰ درصد نیتروژن همان لایه می باشد. در خاک های خیلی هوادیده تثبیت آمونیوم حداقل است، زیرا رس های ۲:۱ اندک می باشد. در حالی که تثبیت آمونیوم ممکن است به علت تثبیت نیتروژن مزیت به حساب آید، نرخ آزاد شدن آمونیاک تثبیت شده چنان پایین است که نمی تواند نیاز های نیتروژن گیاهان سریع الرشد یک ساله را برآورده کند.

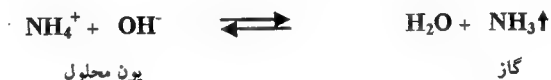
^۱ - این تثبیت شیمیایی آمونیوم به وسیله ی بار گرفتن یا پیوند قوی یون NH_4^+ به وسیله ی رس های سیکلیک های خاص انجام میشود. این نوع تثبیت (که یون های K^+ نیز مشابهاً در پیوند قرار می گیرند) نباید با تثبیت زیستی گاز نیتروژن نیواره ترکیبات قابل استفاده گیاهان اشتباه شود.

جدول ۱-۱۳ میزان کل نیتروژن افق‌های A و B چهارخاک تحت کشت ویرجینیا و درصد نیتروژن به صورت غیرقابل تبادل و یا تثبیت شده NH_4^+ به درصد بالای تثبیت در افق B توجه نماید.

کل نیتروژن (میلی گرم در کیلوگرم)		نیتروژن تثبیت شده به صورت NH_4^+ (درصد)		گروه بزرگ خاک (سری)
افق A	افق B	افق A	افق B	
۸۱۲	۵۱۶	۵	۱۸	هاپلودولت (بوژاک) ^۱
۵۰۳	۳۳۶	۵	۱۴	پالودولت (دوتان) ^۲
۱۷۹۲	۴۵۸	۳	۱۷	هاپلودولت (گروس کلوز) ^۳
۱۱۱۰	۳۸۳	۶	۲۶	هاپلودولت (الیوک) ^۴

۶-۱۳ بخارشدن آمونیاک^۵

تولید گاز آمونیاک در نظام خاک و نبات می‌تواند بیشتر نیتروژن خاک را به‌صورت بخار به نیوار هدر دهد (شکل ۳-۱۳ را مشاهده کنید). منبع گاز آمونیاک ممکن است کود دامی (بوی آشنای آمونیاک در اطراف مرغداری‌ها و اصطبل‌ها) و یا کود شیمیایی (آمونیاک خشک و اوره)، پس‌مانده‌های گیاهی درحال تجزیه (برگ‌نیام‌داران غنی از نیتروژن) و حتی برگ درختان زنده باشد. درهرحال، گاز آمونیاک در تعادل با یون‌های آمونیم طبق واکنش برگشت‌پذیر زیر می‌باشد:



از این واکنش می‌توان به ۳ استتاج زیر رسید:

- ۱- بخارشدن آمونیاک با افزایش pH چشم گیر است (با افزایش یون OH^- فعل و انفعالات به طرف راست واکنش هدایت می شود).

- ۲- مواد اصلاحی تولیدکننده گاز آمونیاک سبب افزایش pH محلول و راندن فعل وانفعال به سمت راست می شود.

- ۳- وقتی خاک مرطوب خشک شود آب از سمت راست واکنش خارج و واکنش به سمت راست کشیده می شود.

کلویدهای خاک (رس و هموس) قادر به جذب گاز آمونیاک بوده و در صورت نبود آن‌ها، و یا عدم تماس آمونیاک با خاک، هدررفت آمونیاک زیاد است. بنابه دلایل فوق، هدررفت آمونیاک از خاک‌های شنی و خاک‌های قلیایی و آهنی، به‌خصوص با مواد تولیدکننده‌ی آمونیاک در سطح و یا نزدیک سطح در هنگام خشک‌شدن خاک، بسیار سنگین است. دمای بالا، که معمولاً در سطح خاک وجود دارد سبب بخار آمونیاک می‌گردد.

مخلوط کردن کود دامی و کودهای شیمیایی در چند سانتی متری خاک فوقانی می‌تواند هدررفت آمونیاک را در مقایسه با آنچه در سطح مانده است به ۲۵ تا ۷۵ درصد کاهش دهد. در علف‌زارهای طبیعی و مراتع مخلوط کردن ضایعات دامی به وسیله ی کرم‌های خاکی و سوسک سرگین (جعل) در حفظ تعادل مطلوب نیتروژن و توانایی نگهداری احشام در این بوم‌سامان حیاتی است.

بخارشیدن از اراضی مرطوب: بخار آمونیاک از کودهای شیمیایی مورد مصرف در سطح استخرهای ماهی و یا برنجزارهای غرقابی، به دلیل رشد جلبک در آب شالیزار و اخذ CO_2 از آب برای سوخت و ساز نوری و کاهش اسیدکرپتیک آب، سبب بالا بردن pH به ۹ و آزاد شدن گاز آمونیاک در ساعات آفتابی روز می‌شود. همانند نقاط مرتفع با مخلوط کردن کود در چند سانتی متری فوقانی خاک می‌توان از این هدررفت ممانعت کرد. اراضی ماندابی نیز به‌طور مشابه آمونیاک را در چرخه روزانه از دست می‌دهند.

جذب آمونیاک^۱: برعکس سازوکار هدررفت آمونیاک که تشریح گردید خاک‌ها و گیاهان می‌توانند آمونیاک را از نیوار جذب کرده، و ضمن کسب نیتروژن قابل‌استفاده برای میکروب‌های خاک و گیاه به زدودن آمونیم از هوا مبادرت کنند. ممکن است جنگل‌ها بخش قابل‌توجهی

¹ -Hapludults(Bojac)² -Paleudults(Dothan)³ -Hapludults(Groseclose)⁴ -Hapludults(Elloak)

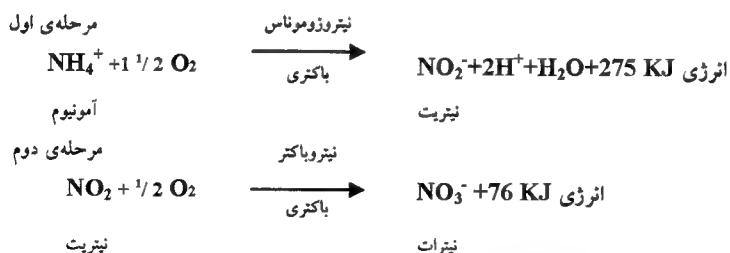
- 5 -Amonia volatilization

⁶ -Amonia absorption

از نیازهای نیتروژن خود را به صورت آمونیاک حمل شده به وسیله باد از اراضی زراعی کود خورده و پرواربندی های گله های احشام واقع در فاصله چند کیلومتری جذب کنند.

۷-۱۳ نیترا تی شدن^۱

ین آمونیوم در خاک ممکن است به طور آنزیمی به وسیله باکتری های خاص اکسیده شده اول نیتريت و بعد نترات تولید کند. این باکتری ها خود پرور می باشند زیرا انرژی خود را به جای ماده ای آلی از اکسایش آمونیوم به دست می آورند. فرایندی که نیترا تی شدن نامیده می شود (شکل ۳-۱۳ را مشاهده کنید) شامل دو مرحله پایی است. مرحله اول تبدیل آمونیوم به نیتريت به وسیله گروه خاصی از باکتری های خود پرور یعنی نیتروزوموناس^۲ می باشد. در مرحله دوم بر روی نیتريت ایجاد شده گروه دوم از باکتری های خود پرور یعنی نیترو باکتر^۳ به سرعت عمل می کند. اکسایش آنزیمی سبب آزاد شدن انرژی شده و ممکن است به طور ساده به شکل زیر معرفی شود:



تا زمانی که شرایط برای هر دو واکنش مساعد باشد، مرحله ی دوم برای جلوگیری از تجمع نیتريت به سرعت به دنبال خواهد آمد، و این جای خوشبختی است زیرا نیتريت در غلظت های اندک، حتی چند ppm برای اکثر گیاهان و پستانداران سمی می باشد.

بدون توجه به منبع آمونیوم (کودهای شیمیایی ایجادکننده آمونیاک، لجن فاضلاب - کود دامی و یا هر منبع آلی دیگر)، نیترا تی شدن سبب افزایش اسیدیت خاک با تولید ۲ ین هیدروژن از هر مولکول آمونیوم می شود. در مناطق مرطوب، مواد آهکی برای جلوگیری از اسیدیت ایجاد شده باید مصرف گردد (فصل ۹).

شرایط خاک مؤثر در نیترا تی شدن

باکتری های تولیدکننده نترات در مقایسه با گروه گسترده موجودات ناخود پرور مسوول آزادسازی آمونیاک از ترکیبات آلی نیتروژن (آمونیاکی شدن) به شرایط محیطی حساس تر می باشند، به طور مختصر، بعضی از شرایط خاک را که در نیترا تی شدن مؤثرند مورد ملاحظه قرار می دهیم.

میزان آمونیاک : نیترا تی شدن تنها در صورت وجود آمونیوم برای فرسایش اکسایش تحقق می یابد. ممکن است نسبت C/N زیاد که از آزاد شدن آمونیوم ممانعت می کند، نیترا تی شدن را محدود کند. مقدار گاز آمونیاک زیاد می تواند از نیترا تی شدن ممانعت کند. ممکن است غلظت بالای کود اوره و آمونیاک خشک در خاک های قلیایی NH_3 را چنان بالا ببرد که برای نیتروباکتر سمی باشد. بدون وجود باکتری های فعال نیتروباکتر نیتريت ممکن است در مقادیر سمی تجمع یابد.

تهویه ی خاک : موجودات مسوول نیترا تی شدن هوای و نیازمند اکسیژن برای تولید NO_2^- و NO_3^- می باشند. بنابراین، تهویه و زه کشی سبب ارتقای نیترا تی شدن می شود، خاک ورزی متوسط سبب تهویه گشته و خاک را گرم تر کرده، و نیترا تی شدن را افزایش می دهد. برعکس در نظام کمینه خاک ورزی^۴ مقدار نیترا تی شدن به دلیل تهویه ناقص کمتر از حالتی است که شخم و شیاری انجام گیرد.

رطوبت : نیترا تی شدن در شرایط رطوبت بالا و پایین خاک متوقف می شود (شکل ۴-۱۳). بهینه رطوبت برای نیترا تی شدن همانند بهینه رطوبت برای رشد گیاهان عالی می باشد (۶۰ درصد از منافذ از آب پر باشند). هر چند وقتی رطوبت خاک نزدیک نقطه پژمردگی دایم (PWP)^۵، باشد که برای گیاهان عالی بسیار خشک است، مقدار قابل توجهی نیترا تی شدن انجام می گیرد.

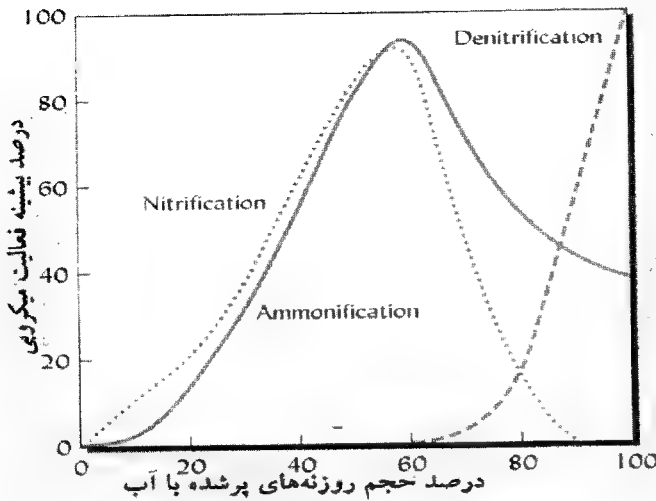
^۱ -Nitrification

^۲ -Nitrosomonas

^۳ -Nitrobacter

^۴ -Minimum tillage

^۵ -Permanent wilting point



شکل ۴-۱۳ درصد خلل و فرج مملو از آب به دلیل این که تعادل بین اکسیژن و آب را مشخص می‌سازد. در ارتباط نزدیک با نیتراتی شدن، آمونیاکی شدن، و نیترات زدایی می‌باشد. توجه داشته باشید که آمونیاکی شدن در خاک‌هایی که برای نیتراتی شدن فعال، خیلی مرطوبند می‌تواند ادامه داشته باشد. هم‌پوشانی بسیار کمی در شرایط مناسب برای نیتراتی شدن و نیترات زدایی وجود دارد.

منبع کربن: باکتری‌های مسوول نیتراتی شدن از CO_2 و HCO_3 به عنوان منابع کربن برای بازسازی اجزاء یاخته‌ای خود استفاده می‌کنند، چون خودپرور بوده و به ماده‌ی آلی به عنوان منبع کربن و انرژی نیاز ندارند.

دما: مطلوب‌ترین دما در فاصله ۳۵-۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد است. وقتی خاک‌ها خنک هستند نیتراتی شدن کند است و در کمتر از ۵ درجه‌ی سانتی‌گراد عملاً متوقف می‌شود. اگر کود آمونیوم در اول بهار در خاک مصرف شود نیتراتی شدن و قابل استفاده بودن تا گرم شدن خاک در آخر فصل به تأخیر می‌افتد. میزان نیتراتی شدن همچنین در دمای بالاتر از ۳۵ درجه‌ی سانتی‌گراد کاهش و در دمای بالاتر از ۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد اساساً متوقف می‌شود.

کاتیون‌های قابل تبادل بازی و pH: هرچه کاتیون‌های بازی بیشتر باشند، نیتراتی شدن بیشتر به پیش خواهد رفت. نیاز به این کاتیون‌ها تا حدی مربوط به نیتراتی شدن آهسته در خاک‌های معدنی اسیدی و تا حدی حساسیت مشهود ریز موجودات به pH پایین می‌باشد. هرچند، در حدود و ثغور معقول به نظر می‌رسد که اسید خود در صورت وجود کاتیون‌های بازی به مقدار کافی تأثیر اندکی بر نیتراتی شدن داشته باشد. این مسأله به خصوص در خاک‌های پیت‌زار صادق است. در خاک‌های پیت‌زار اگر مقدار Mg^{2+} و Ca^{2+} کافی باشد حتی در pH کمتر از ۵ نیز ممکن است تجمع نیترات مشاهده شود.

کودها: نیاز عناصر غذایی موجودات مسوول نیتراتی شدن همانند گیاهان عالی می‌باشد. در نتیجه، نیتراتی شدن در حضور عناصر اساسی به مقدار کافی تقویت می‌شود

آفت‌کش‌ها: موجودات مسوول نیتراتی شدن به بعضی آفت‌کش‌ها حساس می‌باشند، و در صورت افزودن آن‌ها در مقادیر زیاد، بسیاری از این مواد شیمیایی نیتراتی شدن را در سطح زیاد تا سطح کم محدود می‌کند. گرچه بسیاری از مطالعات اعلام کرده‌اند که در مقادیر معمول مزرعه، اکثر آفت‌کش‌ها دارای اثر بر نیتراتی شدن می‌باشند.

نوع رس: رس‌های اسمکتیت و آلفان، به خاطر تثبیت ترکیبات آلی، سبب کاهش نیتراتی شدن می‌گردند. ترکیبات آلی دارای نیتروژن با سطح رس‌ها وارد پیوند شده و یا در منافذ ریز بین میسل‌ها قرار گرفته و بنابراین از حمله‌ی میکربی در امان می‌مانند.

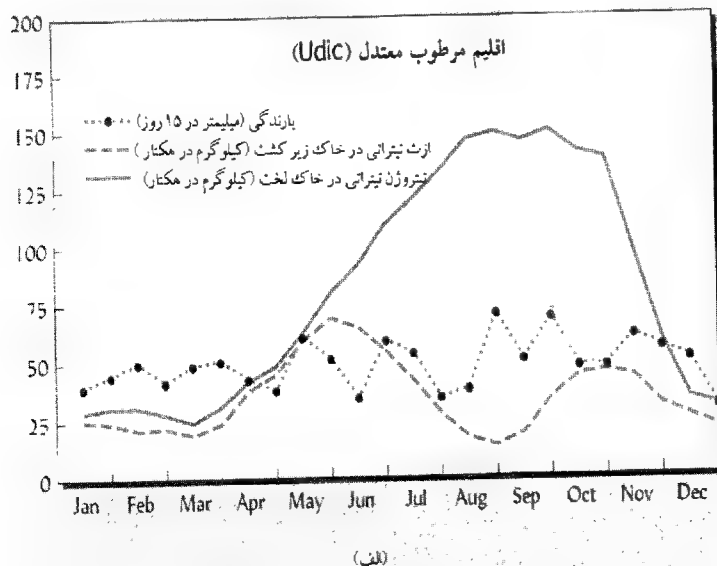
محدودکننده‌های نیتراتی شدن: در سال‌های اخیر ترکیباتی پیدا شده‌اند که سبب توقف و یا کند شدن فرایند نیترات سازی می‌گردند. بنابراین، توان آبشویی نیترات را کاهش می‌دهند. این ترکیبات و همچنین دیگر آن‌ها که انحلال‌آور را به تأخیر می‌اندازند، در تابلو ۲-۱۳ مورد بحث قرار گرفته‌اند. در صورت مناسب بودن شرایط، نیتراتی شدن چنان سریع است که نیترات غالب‌ترین شکل نیتروژن در اکثر خاک می‌باشد. آبیاری خاک تقطیده‌ی یک منطقه‌ی خشک، باران اولی، که بعد از یک فصل خشک طولانی در مناطق حاره نازل می‌شود، ذوب شدن و گرم شدن سریع خاک‌های یخ‌زده در بهار، و تهویه ناگهانی به وسیله‌ی خاک‌ورزی، نمونه‌های از نوسانات محیطی هستند که سبب عرضه‌ی مقدار زیادی نیترات می‌شوند (شکل ۵-۱۳). شیوه‌های رشد پوشش طبیعی و تاریخ کشت بهینه برای زراعت‌ها معمولاً تحت تأثیر این تغییرات فصلی در میزان نیترات می‌باشند.

۸-۱۳ مسأله‌ی آبشویی نیترات

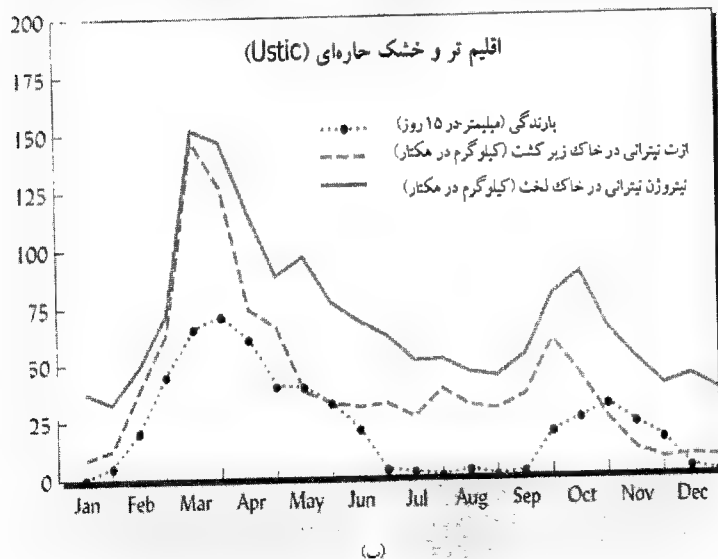
برخلاف یون‌های آمونیوم که دارای بار مثبت می‌باشند، یون‌های نیترات دارای بار منفی جذب کلویدهای دارای بار منفی غالب در اکثر خاک‌ها نمی‌شود. بنابراین یون‌های نیترات به آزادی با زهاب به پایین خاک‌رخ حرکت می‌کنند، و به آسانی از خاک آبشویی می‌شوند. هدررفت نیتروژن به این طریق به دو دلیل مورد توجه می‌باشد: (۱) این هدررفت معرف تهدید شدن (فقیر شدن) بوم‌سامان، چه در آن کشت گیاهان انجام شده باشد و چه انجام نگرفته باشد (۲) آبشویی نیترات سبب ایجاد مسائل حاد زیست‌محیطی می‌گردد.

کاهش توان تولید

توان تولیدی بوم‌سامان نه تنها به خاطر هدررفت نیتروژن تحت تأثیر قرار می‌گیرد، بلکه آبشویی نیترات از منابع اسیدی (نیتراتی شدن و یا باران‌های اسیدی) سبب تسهیل هدررفت کلسیم و سایر کاتیون‌های غذایی می‌شود. هر دو نوع هدررفت عناصر غذایی معمولاً سبب کاهش توان تولید بوم‌سامان می‌شود (فصل ۱۴-۱۳ را نیز مشاهده کنید). در مدیریت اراضی نیز یک هدررفت اقتصادی، مساوی با ارزش نیتروژن ازدست‌رفته، وجود خواهد داشت.



شکل ۵-۱۳ شیوه‌ی غلظت فصلی نیترات در خاک‌ها معرف سطحی با و بدون گیاهان. منحنی بالایی (الف) معرف یک خاک در منطقه گرم معتدل با زمستان‌های سرد است که بارندگی در طول سال به‌طور یکنواخت توزیع شده است. نیترات به‌محض گرم شدن خاک در ماه مه و ژوئن تجمع می‌یابد اما اثر آبشویی در پاییز از دست می‌رود. منحنی پایین معرف یک خاک در یک منطقه گرمسیری با یک فصل فرعی و اصلی بارانی که از همدیگر با چند ماه هوای خیلی خشک تفکیک می‌شوند. مهم‌ترین چهره قابل‌توجه طغیان نیترات است که وقتی باران اول بار خاک را بعد از فصل خشک طولانی مرطوب می‌کند ظاهر می‌شود. این سیلان نیترات در اثر تجزیه سریع و معدنی شدن یاخته‌های مرده ریزجاندارانی است که قبلاً به‌وسیله‌ی هوای خشک گرم کشته شده بودند. توجه کنید وقتی گیاه کشت می‌شود، میزان نیترات در هر دو اقلیم کم است زیرا اکثر نیترات تشکیل شده به‌وسیله‌ی جذب گیاه از خاک بیرون می‌رود.



نابلو ۲-۱۳ تنظیم نیتروژن محلول با فناوری کودهای شیمیایی

شاید پرچالش‌ترین جنبه اداره نیتروژن تنظیم اشکال محلول این عنصر پس از ورود آن به خاک باشد. قابلیت استفاده در زمان خاص و در مقدار مناسب با کمیته مقدار هدررفت، هدف آرمانی است. حتی وقتی کودهای شیمیایی برای تأمین بیشتر نیتروژن مصرف می‌شود، نگهداری یک مقدار کافی اما نه زیاد نیتروژن قابل استفاده کاری ساده نیست. تقسیط مصرف کود شیمیایی راهی برای دست‌یابی به این هدف است. این فن شامل تقسیم مصرف نیتروژن در مقادیر کمتر در مراحل مختلف رشد گیاهی به جای تمام کود در هنگام کشت و یا قبل از آن می‌باشد. در خاک‌های شنی و یا در جایی که آبیاری و بارندگی در اول فصل بالاست، مصرف تمام نیتروژن در زمان کشت سبب آیشویی بیشتر نیتروژن به زیر منطقه انتشار ریشه پیش از این که نبات فرصت استفاده را از آن داشته باشد، خواهد گردید. در مناطقی با بارندگی زیاد در طول زمستان، مهم این است که از باقی گذاشتن مقادیر زیاد نیتروژن محلول در داخل خاک پس از کامل شدن رشد نبات باید اجتناب کرد.

محدودکنندهای نیتراتی شدن^۱ به دلیل این که آمونیاک بسیار کمتر از نیترات به هدررفت آیشویی و یا نیترات‌زدایی حساس است، در صورت کند نمودن نیتراتی شدن آمونیوم موجود در کودها تا آماده شدن گیاه برای استفاده از نیتروژن، مصرف کودهای شیمیایی ممکن است بسیار مؤثرتر گردد. برای تحقق این امر شرکت‌های شیمیایی ترکیباتی ارائه نموده‌اند که محدودکنندهای نیتراتی شدن نام داشته و سبب محدودیت فعالیت باکتری نیتروزوموناس می‌شود که آمونیوم را در اولین مرحله نیتراتی شدن به نیتريت تبدیل می‌کند (توجه داشته باشید که مواد شیمیایی که سبب محدودیت نیتروپاکتر شود مفید نیست، زیرا سبب تجمع نیتريت سمی خواهد شد). سه محدودکننده نیتراتی شدن تجاری عبارتند از دی‌سیانودی‌آمید^۲، نیتراپیرین^۳ و اتری‌دیازول^۴ که وقتی با کودهای شیمیایی نیتروژن‌دار مخلوط شوند، این مواد به طور موقت از تولید نیترات جلوگیری خواهند کرد. کلمه کلیدی، در این موقتی بودن اثر است، زیرا وقتی شرایط برای نیتراتی شدن مناسب باشد، محدودیت فقط برای چند هفته ادامه خواهد داشت (اگر دمای خاک بیش از ۲۰ درجه سانتی‌گراد باشد مدت محدودیت کمتر خواهد بود). تحقیقات نشان داده‌اند که این مواد هزینه خود را با بهبود کارایی مصرف کود، وقتی که شرایط برای هدررفت کود برابر آیشویی خاک‌رخ و یا نیترات‌زدایی فراهم باشد، تأمین خواهند کرد. بنابراین، محدودکنندهای نیتراتی شدن عمدتاً در سالهای نسبتاً مرطوب در خاک‌های شنی (با کاهش آیشویی) و در خاک‌ها با زه‌کشی ناقص (با کاهش نیترات‌زدایی) ارزشمند خواهد بود.

کودهای شیمیایی کند آزادکننده نیتروژن : استفاده از کودهای شیمیایی کند آزادکننده روش دیگری برای کاهش هدررفت نیتروژن از خاک‌های کودخورده می‌باشد. برخلاف اکثر کودهای معدنی، این مواد نیتروژن محلول را به آهستگی در خاک آزاد می‌سازد. بنابراین قابلیت استفاده نیتروژن با جذب آن به وسیله گیاه همزمان می‌شود. بعضی از مواد آلی تثبیت شده مانند کمپوست و لجن فاضلاب هضم شده (مثلاً میل ارگانیت^۵) برای این منظور به کار می‌روند. هرچند اکثر کودهای شیمیایی کند آزادکننده نیتروژن با عمل آوردن اوره به وسیله‌ای موادی که انحلال آن‌را کند کرده، و یا از آبکافت آن به آمونیوم ممانعت می‌کنند مانند فورمالدئید اوره^۶، ایزوبوتیلیدن‌دی‌اورا^۷، کودهای شیمیایی با پوشش رزین (اوسموکت^۸) و اوره با پوشش گوگردی^۹ ساخته می‌شوند، تماماً نمونه‌هایی از کودهای شیمیایی کند آزاد کننده نیتروژن می‌باشند. در مورد کود آخری میزان گوگرد (۱۰ تا ۲۰ درصد) در مواردی که گوگرد خاک پایین باشد ممکن است یک مزیت بوده (بخش ۱۷-۱۳) و یا وقتی اسیدیت اضافی ایجاد شده به وسیله گوگرد (فصل ۲۱-۱۳) نامطلوب باشد، یک مشکل خواهد بود. به دلیل هزینه‌های ساخت اضافی و میزان نیتروژن کمتر، قیمت کودهای شیمیایی کند آزادکننده نیتروژن ۱/۵ (برای اوره با پوشش گوگردی) تا ۴ برابر اوره معمولی در واحد نیتروژن می‌باشد. با وجود این مصرف مواد دیر آزادکننده برای تولید نباتات پرازش، که قیمت کود یک مسأله حاد نمی‌باشد (سبزی‌های خاص، چمن و گیاهان زینتی) و برای موقعیت‌های خاص که در آن هدررفت نیتروژن در اوره بسیار بالاست (برنج‌زارها) عملی می‌باشد. این کودها در چمن زمین گلف به طور گسترده مصرف می‌شوند، زیرا آن‌ها سبب سوختن چمن، ناشی از کود نشده و مصرف آسان‌تر مقادیر اندک کود را ممکن می‌سازد. مصرف یک‌جای نیتروژن محلول سالانه در چمن ممکن است سبب هدررفت ۱۰ تا ۵۰ درصد نیتروژن مصرف شده به وسیله آیشویی گردد، درحالی که در صورت مصرف کودهای دیر آزادکننده نیتروژن این هدررفت به ۳ درصد و یا کمتر خواهد رسید.

^۱ Dicyandiamide (DCD)^۳ Etridiazol (Dwell®)^۵ Urea formaldehyde^۷ Osmocote®^۲ Nitrapyrine (N-serve®)^۴ Milorganite^۶ Isobutylidene diurea (IDBU)

* اوره با پوشش گوگرد نباید در برنج‌زارهای غرقابی مصرف شود، زیرا آهن احیاء شده در غرقاب با پوشش گوگرد ترکیب شده FeS غیر محلول می‌دهد که سبب قفل شدن نیتروژن کود می‌شود.

اثرات زیست‌محیطی

مسایل زیست‌محیطی که به‌وسیله‌ی نیتروژن ایجاد می‌شود، عمدتاً در ارتباط با حرکت آن از طریق زهاب به آب زیرزمینی می‌باشد. ممکن است زهاب به چاه‌های خانگی رسیده و نهایتاً با جریان‌های زیرزمینی به آب‌های سطحی مانند نهرها، دریاچه‌ها و خلیج‌ها برسد. نیترات ممکن است سبب آلودگی آب آشامیدنی و غنی‌سازی^۱ و مسائل همراه آن گردد (تابلو ۳-۱۳).

میزان نیترات ازدست‌رفته در زهاب وابسته به دو عامل اساسی است: (۱) میزان آبشویی از داخل خاک، (۲) غلظت نیترات در آن زهاب. میزان بارندگی و آبیاری، همراه با بافت و ساختمان خاک در میزان آبشویی مؤثرند. خاک‌های شنی در مناطق مرطوب مخصوصاً به آبشویی نیترات حساس می‌باشند. در صورتی که چنین هدررفت نیترات در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک بدون آبیاری معمولاً خیلی پایین می‌باشد. ممکن است آبشویی بر اثر استفاده از نظام‌های خاک‌ورزی حفاظتی تشدید گردد، این نظام‌ها نفوذ آب را افزایش و در نتیجه آبشویی و هدررفت بیشتر نیترات‌ها را به دنبال خواهند داشت.

غلظت نیترات‌ها در زهاب در ارتباط با تعادل و زمان‌بندی ورودی‌ها و خروجی‌های نیتروژن از خاک، نرخ نیتراتی‌شدن، و برداشت نیترات از محلول خاک می‌باشد. در بعضی از بوم‌سامان‌های جنگلی بالغ به یک تعادل نزدیک بین جذب نیتروژن و برگشت آن در لاشبرگ ریزش کرده و درختان مرده، دست‌یابی یافته‌اند، آب زیرزمینی کمتر از یک میلی‌گرم در لیتر نیترات دارد. هرچند ورودی‌های نیتروژن در نیوار (مثلاً نیترات در باران‌های اسیدی و یا تثبیت نیتروژن) و به‌هم‌خوردن بوم‌سامان (برداشت الوار) می‌تواند بار زیادی در بوم‌سامان جنگل ایجاد نماید، که هدررفتی تا ۳۰-۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار را در آبشویی سالانه به دنبال داشته باشد.

هدررفتهایی حتی بیشتر از این در نظام کشاورزی، که در آن‌ها مقادیر توزیع نیتروژن به‌طور مرتب از مقدار برداشت شده بر اثر جذب گیاه و برداشت محصول بیشتر است، ممکن است حاصل شود. کوددادن سنگین نیتروژن (که مخصوصاً برای سبزی‌ها و سایر گیاهان پرارزش معمول است) ممکن است از آن‌چه گیاهان قادر به مصرف آن هستند، فزونی گیرد و می‌تواند دلیل عمده‌ای بر آبشویی فراوان نیترات باشد (شکل ۶-۱۳). مدیریت غیرکارایی کود دامی در مراکز تولید متمرکز دام یک علت معمول دیگر از آلودگی نیترات در آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌باشد. در صورت تلفیق با مصرف کود نیتروژنی، کود دامی می‌تواند بسیار بیشتر از میزان جذب نبات این عنصر را فراهم نموده و سبب آلودگی آب و نیوار گردد. [داده‌های آماری سه کشور اروپایی این نکته را تشریح می‌کنند] (جدول ۲-۱۳). شگفت‌آور نخواهد بود که آب زیرزمینی کم‌عمق تحت بعضی شرایط دارای نیترات بیش از ۴۵ میلی‌گرم در لیتر (۱۰ میلی‌گرم نیتروژن در لیتر) باشد که حد قانونی آن برای آب شرب در آمریکا می‌باشد^۲.

زمان مصرف نیتروژن مسأله‌ای بحرانی است. توان آلودگی آب زیرزمینی به‌وسیله‌ی نیترات وقتی بارندگی (و آبیاری) بالا بوده و در همان وقت میزان تبخیر و مصرف گیاهی پایین باشد، زیاد است. آخر پاییز، زمستان و اول بهار در اقلیم معتدل مرطوب و مدیترانه‌ای فصل‌هایی هستند که بیشترین هدررفت نیترات صورت می‌گیرد. مدیران خاک باید عملیاتی را انتخاب کنند که تولید نیترات را به کمینه مقدار و جذب گیاهی را در این دوره بحرانی به بیشینه مقدار برسانند. برای نمونه، در صورت عملی‌بودن باید از مصرف پاییزه کودهای شیمیایی و کود دامی پرهیز کرد. درحالی که کشت گیاهان پوششی زمستانه باید مورد حمایت قرار گیرد (بخش ۲-۱۶ را مشاهده کنید).

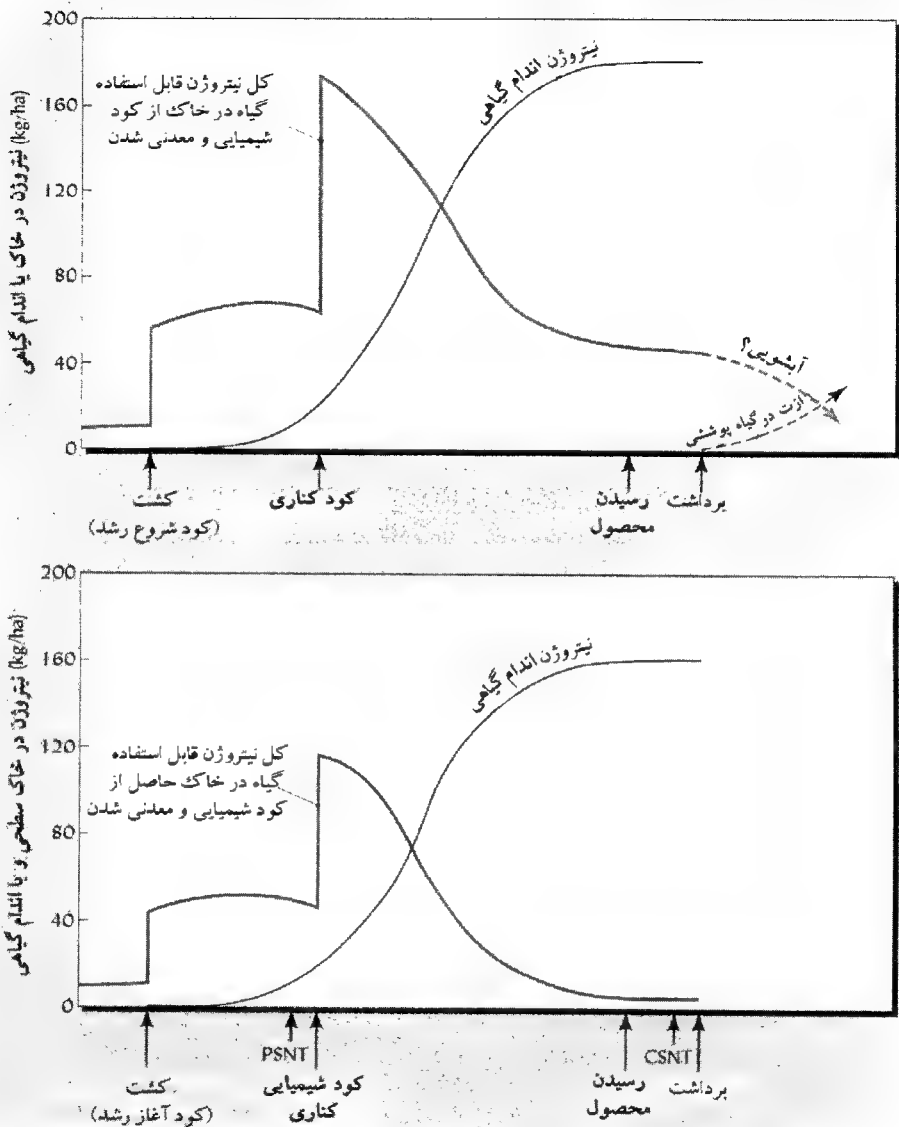
مدیریت می‌تواند سبب کاهش هدررفت شود: حتی در مناطق با توان بالای آبشویی، مدیریت محتاطانه می‌تواند از هدررفت زیاد نیترات ممانعت کند. کودهای شیمیایی و کود دامی باید در میزان‌های متعارف در ارتباط با زمان نیاز گیاهان مصرف شود و نباید خیلی زودتر و یا خیلی دیرتر از زمان جذب خیلی شدید نبات به کار روند. اگر این کار از نظر اقتصادی موجه نباشد. سایر نباتات در تناوب، شامل گیاهان پوششی باید بلافاصله بعد از زراعت نقدی برای مصرف نیترات به مصرف نرسیده کشت شوند (شکل ۶-۱۳ را مشاهده کنید). اگر این توصیه‌ها دنبال شوند، آبشویی نیترات به مقدار کمتر از ۵ درصد نیتروژن مصرف شده می‌رسد.

چرخه نیتروژن در مناطق گرم، مرطوب: اکثر نیتروژن معدنی‌شده در خاک‌های شدیداً هوازدهی اکسی‌سول و التی‌سول، قبل از این که نباتات یک‌ساله مانند ذرت از آن استفاده کنند به پایین‌تر از منطقه‌ی انتشار ریشه وارد می‌شوند. اخیراً متوجه شده‌اند که بخشی از این نیترات آبشویی‌شده به داخل آب زیرزمینی وارد نشده، بلکه در چندمتری عمق خاک‌رخ رس‌های خیلی آبشویی‌شده آن‌را به‌شکل آتیون جذب می‌کنند. درختان دارای ریشه عمیق می‌توانند این نیترات‌ها را جذب کرده و بعداً آن‌ها را با ریزش برگ‌های خود در غنی‌سازی خاک سطحی مصرف کنند. درختانی مانند *Sesbania* که در تناوب با گیاهان یک‌ساله کشت می‌شوند، می‌توانند از این مخزن نیتروژن آبشویی‌شده موجود برای

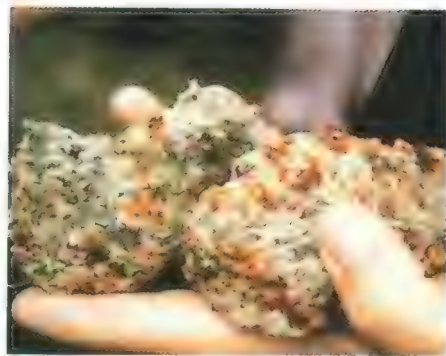
^۱ -Eutrophication

^۲ بعضی مواقع، غلظت نیترات برحسب نیتروژن نیتراتی ($\text{NO}_3\text{-N}$) گزارش می‌شود. برای تبدیل میلی‌گرم نیترات (NO_3) به میلی‌گرم نیتروژن نیتراتی ($\text{NO}_3\text{-N}$) آن‌را به $\frac{1}{4.4}$ تقسیم کنید.

تولید محصولات استفاده کرده و از حرکت بیشتر آن‌ها به آب‌های زیرزمینی ممانعت کند (شکل ۷-۱۳). عملیات جنگل-زراعی همانند آنچه گفته شد دارای توان زیادی برای کمک بسیار هم به تولید محصول و هم به بهبود کیفیت زیست‌محیطی در مناطق گرم حاره‌ای می‌باشد (بخش ۹-۲۰ را مشاهده کنید).



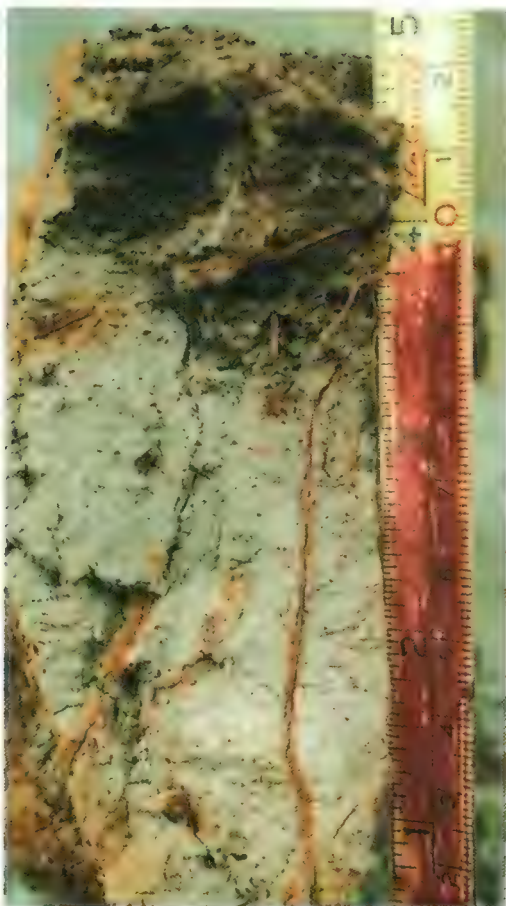
شکل ۶-۱۳ دو نظام کود شیمیایی برای تولید ذرت در بخش غرب میانی آمریکا. نظامی که از قبل معمول بوده است (شکل بالا) شامل مصرف خیلی زیاد نیتروژن و کشت پی‌درپی ذرت. این نظام با توجه به هدف تولیدکننده جهت برداشت حداکثر سود اقتصادی و اجتناب از کاهش عملکرد در اثر آبشویی نیتروژن و یا نیترات‌زدایی در طول دوره‌های پرباران می‌باشد. حداقل ۱۵۰ کیلو نیتروژن درهکتار مصرف می‌شود. بخشی به‌عنوان کود شروع‌کننده رشد قبل و یا درحین کشت، و بقیه به‌صورت کود نواری قبل از آغاز مرحله رشد شدید نبات، متاسفانه، وقتی نبات می‌رسد و برداشت می‌گردد اکثر نیتروژن محلول در خاک احتمالاً به‌شکل نیترات باقی می‌ماند. اگر نیتروژن به‌وسیله نبات پوششی کشت شده در ذرت هنگام برداشت جذب نشود، نیتروژن در طول ماه‌های زمستان و بهار دچار آبشویی گشته و این سبب آلودگی آب زیرزمینی و سرانجام آب سطحی می‌شود. نظام سازگارتر با محیط زیست شامل تناوب زراعی از جمله گیاهان نیام‌دار با ذرت می‌باشد. و یا اگر ذرت پی‌درپی کشت می‌شود میزان مصرف نیتروژن بسیار کاهش یابد (عکس پایین). آزمون نیترات در خاک قبل از مصرف کودکناری (PSNT) برای تعیین میزان نیتروژن مورد نیاز انجام می‌شود در آخر فصل آزمون نیترات در ساقه ذرت (CSNT) برای ارزیابی وضعیت نیتروژن گیاه انجام می‌گردد. عملکرد نبات و سود اقتصادی حدوداً در هر دو نظام همانندند. اما، نیتروژن باقی‌مانده در خاک در هنگام برداشت ذرت پایین بوده و آلودگی نیتروژن به‌حداقل می‌رسد. ازت هدریافته به‌وسیله باران‌های سنگین در اول فصل می‌تواند با مصرف مقادیر اندک نیتروژن جبران گردد.



۱۸: تمرکز نقاط اکسید احیایی، قرمز و خاکستری
E از یک خاک Aquic Paleudalf



۱۹: رنگ های سبز - خاکستری از آهن ساختمانی احیاشده
ریشه ها در یک افق A از یک Aquic Hapludalf جنگلی
شرایط ماندابی است.



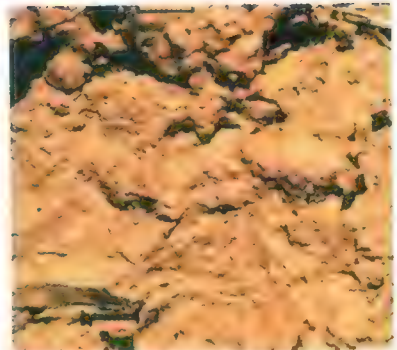
۲۰: مناطق اکسایش یافته (قرمز) ریشه در افق های A
و E بیانگر یک خاک مرطوب است که در اثر انتشار اکسیژن به
خارج ریشه گیاهان باتلاقی که دارای بافت آرانسیم (مجاری هوا)



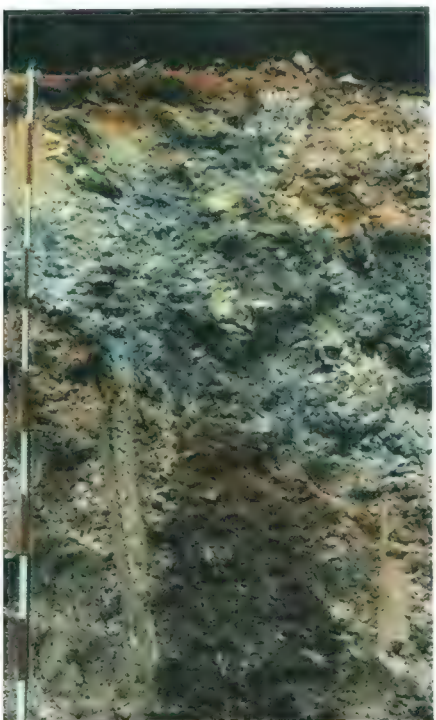
۲۱: تمرکز مواد تیره (سیاه) هموسی و نقاط خاکستری
تخلیه هموس در یک افق A بیانگر خاک مرطوب است. سطح
ایستایی در ۳۰ سانتی متری سطح خاک می باشد.



تابلو رنگی ۲۲: یک مزرعه‌ی ذرت دارای کمبود نیتروژن در خاک Udolls در مرکز ایلی‌نوی. آب ماندابی به دنبال یک بارش سنگین هدر رفتن نیتروژن در اثر نترات زدایی و آبشویی گردید.



تابلو رنگی ۲۳: سطح موم مانند یک قطعه از افق Bt از یک خاک التی سول، پوسته‌های رسی (ارجیلان) است. میله ۱ سانتی متر است.



تابلو رنگی ۲۴: هوادیدگی اسیدسولفات از Sulfidept سبب ایجاد ضایعات معدن پیریت شد افق سولفیدی تیره‌رنگ در زیر اکسایشی سولفید، است زهاب اسیدی شود، مقیاس بر حسب دسی م



تابلو رنگی ۲۵: مراحل اولیه‌ی تشکیل خاک از مواد لایروبی شده بندر بالتیمور. مواد سولفیدی (تیره)، زهاب اسیدی (مایع نارنجی)، تراکم نمک (پوسته‌ی سفید)، و آغاز ایجاد ساختمان منشوری (ترک‌ها) آشکار است.



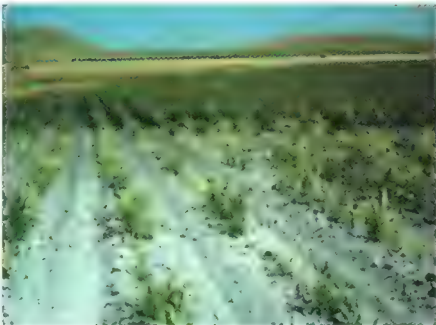
رنگی ۲۶: رودها به وسیله‌ی زهاب اسیدی معادن ذغال‌سنگ، حاصل از سولفوری شدن ک‌های ضایعات معدنی آلوده شده‌اند. اکسایش $FeSO_4$ و ترسیب اکسیدهای آهن در ها سبب ایجاد رنگ نارنجی شده است.



تابلو رنگی ۲۷: نهاده‌های فراوان نیتروژن و فسفر از مزارع بالادست سبب طغیان جلبکی شده و در نتیجه، این رود در دشت ساحلی کم سرعت به وسیله‌ی یک لایه‌ی سبز رنگ تسخیر گردد.



۲۸: گیاهان ذرت معمولی (سمت چپ) می‌بود فسفر (سمت راست) به رنگ ارغوانی بوته توجه کنید.



تابلو رنگی ۲۹: خاک آهنی فرسایش یافته (Ustolls) با ذرت علوفه‌ای دارای کمبود آهن



تابلو رنگی ۳۰: کمبود روی در درخت هلو. به برگ‌های کوچک، بدشکل پیچیده توجه کنید.



نگی ۳۱: کمبود روی بر روی ذرت ، به نوارهای سفید پهن توجه کنید.



تابلو رنگی ۳۲: کمبود بُر در یونجه، به برگ‌های قرمز توجه کنید.



تابلو رنگی ۳۳: کاج دارای کمبود نیتروژن، درختان معمولی در پشت آن.



تابلو رنگی ۳۴: تصویر شماتیک لندست از واشنگتن، دی.سی. (بالاترین قسمت سمت چپ) و رود پتامیک پرسوب (مرکز). تصویر مرکب از رنگ‌های طبیعی صفحه‌ی ۷۷۶ را مشاهده کنید.



تابلو رنگی ۳۵: تصویر شماتیک لندست از طرح زه‌کشی دره‌ی پالوورده در کالیفرنیا رنگ‌های مرکب از باندهای ۴،۳،۲ به دست آمد، پوشش متمرکز قرمز براق به نظر می‌رسد. صفحه‌ی ۷۷۶ را مشاهده کنید.

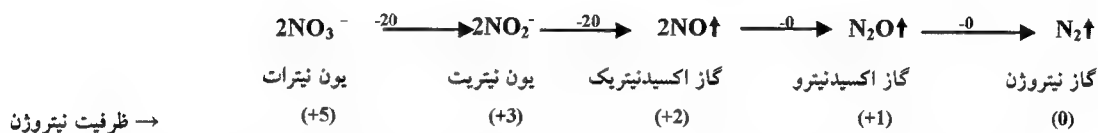
تابلو ۳-۱۳ سلامت انسان و اثرات آبشویی نیترات بر محیط زیست

در صورت استفاده از آب زیرزمینی و یا آب سطحی برای آشامیدن، نیترات دارای توان لازم برای ایجاد اثرات سمی می باشد. متموگلوبینمیا^۱ که به آن سیندرم بچه آبی نیز میگویند، وقتی صورت می گیرد که باکتری های خاص در روده نشخوارکنندگان و نوزادان انسان نیترات خورده شده را به نیتريت تبدیل کند. نیتريت سپس در توانایی خون برای انتقال اکسیژن مزاحمت ایجاد میکند. خون بدون اکسیژن قرمز نیست و نوزادان با این شرایط دارای رنگ آبی در پوست خود می شوند. گرچه مرگ انسان بر اثر متموگلوبینمیا بسیار نادر است، سازمان های ناظر در اکثر کشورها میزان نیترات مجاز در آب آشامیدنی را به نصف آنچه سبب ایجاد مسمومیت می گردد، محدود کرده اند. در آمریکا محدودیت برای نیترات ۴۵ میلی گرم در لیتر (۱۰ میلی گرم در لیتر نیتروژن در شکل نیترات) و در اروپا استاندارد ۵۰ میلی گرم نیترات در لیتر می باشد. باید توجه داشت که به مقدار نیترات در جیره غذایی (آب و سایر منابع مانند کنسرو گوشت) در رابطه با بازسازی ترکیبات نیترو ایجادکننده سرطان روده بزرگ مشکوک می باشند. هرچند شواهد مربوط به این ارتباط در حال حاضر ضعیف است.

مسأله ی گسترده تر در ارتباط با کیفیت آب و نیترات، تخریب نظام های بوم سامان آبی، به خصوص دریاچه ها می باشد که اغلب دارای کمبود نیتروژن می باشند. نیترات همراه با سایر اشکال نیتروژن و فسفر از منابع مختلف به محض رسیدن به آبهای سطحی منجر به مسأله ی غنی شدن می شود. غنی شدن ممکن است سبب رشد توده های بزرگی از جلبک ها گردد که گونه هایی خاص از آنها مزه ها و سمیت هایی ایجاد کرده و آب را برای آشامیدن نامناسب می سازند. تخلیه اکسیژن حل شده که به دنبال مرگ جلبک ها و تجزیه آنها صورت می پذیرد، به شدت بوم سامان آبی را تخریب می کند و سبب مرگ ماهی ها و سایر موجودات آبی می شود. این موضوع در بخش ۲-۱۴ مورد ملاحظه قرار خواهد گرفت.

۹-۱۳ هدررفت گازی نیتروژن بر اثر نیترات زدایی

فرایندی که بر اثر آن نیترات پس از ورود در یک رشته از واکنش های زیست شیمی احیاء و به اشکال گازی نیتروژن تبدیل می گردد، نیترات زدایی نامیده می شود که سبب هدررفت نیتروژن به نیوار می گردد. موجوداتی که این فرایند را انجام می دهند فراوان بوده و معمولاً باکتری های غیر هوازی انتخابی مربوط به جنس های سدوموناس^۲، باسیلیوس^۳، میکروکوکوس^۴ و اکرومایکترها^۵ می باشند که ناخودپرور بوده و کربن و انرژی خود را از اکسایش ماده ی آلی به دست می آورند. سایر باکتری های مسوول نیترات زدایی خودپرور می باشند، مانند تیوباسیلیوس^۶ که انرژی خود را از اکسایش گوگرد به دست می آورد^۷. سازوکار دقیق بسته به شرایط و موجودات درگیر متغیر است، در واکنش، در مراحل مختلف به $[N(II)]NO_2^-$ و سپس به گازهای نیتروژن که شامل $[N(II)]NO$ و $[N(I)]N_2O$ و سرانجام به $[N(0)]N_2$ تبدیل می شود.



گرچه در واکنش ساده فوق نشان داده نشده است، اکسیژن آزاد شده در هر مرحله می تواند برای ایجاد CO_2 از کربن آلی (ویا SO_4^{2-}) از سولفید وقتی تیوباسیلیوس عامل نیتراتی شدن باشد) مورد استفاده قرار گیرد.

شرایطی که برای نیترات زدایی به طور عمده لازم است، می تواند به صورت زیر خلاصه شود:

۱- نیترات به اندازه کافی وجود داشته باشد.

۲- ترکیبات آلی، با سهولت تجزیه (و یا ترکیبات گوگردی احیا شده) برای تأمین انرژی وجود داشته باشد.

¹ - Methemoglobinemia

² - Pseudomonas

³ - Bacillus

⁴ - Micrococcus

⁵ - Achromobacter

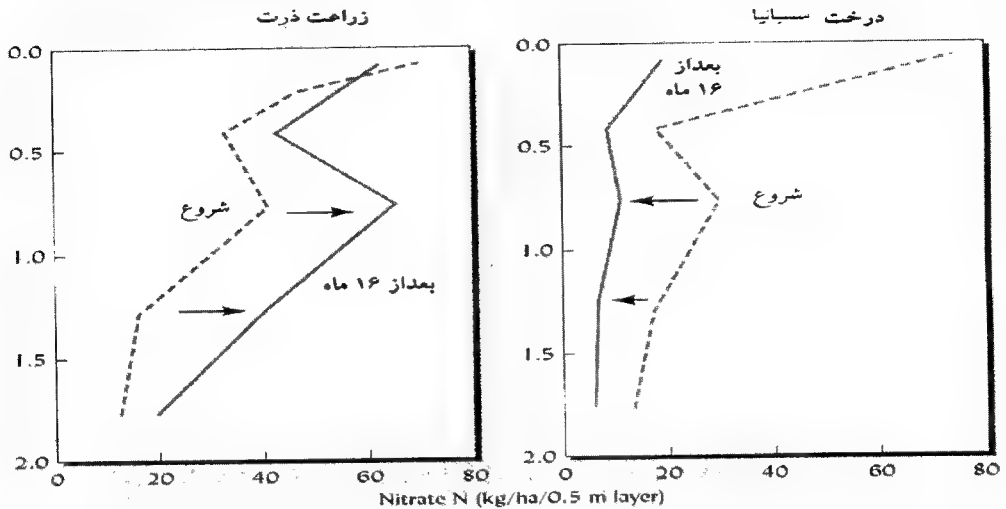
⁶ - Thiobacillus denitrificans

⁷ - نیترات می تواند به وسیله ی واکنش های شیمیایی غیر زیستی به گاز نیتريت و اکسید نیترو تبدیل شود اما در مقایسه به واکنش های زیست شیمی کم اهمیت می باشد.

۳- هوای خاک دارای کمتر از ۱۰٪ اکسیژن و یا آب دارای کمتر از ۰/۲ میلی گرم اکسیژن در لیتر باشد. نیترازدایی در صورت نبود اکسیژن به طور کامل به سرعت به پیش می رود. نیاز نسبت که تمام خاک غیرهوازی باشد، زیرا موضع های دارای اکسیژن اندک در وسط خاکدانه در یک خاک با تهویه خوب می تواند محیط غیرهوازی ایجاد کند.

۴- دمای پهنه ۳۵ - ۲۵ درجه سانتی گراد باشد، گرچه فرایند از دمای ۲ تا ۵۰ درجه سانتی گراد می تواند صورت گیرد.

۵- اسیدیته خیلی شدید ($\text{pH} < 5$) از نیترازدایی سریع جلوگیری کرده و سبب می گردد N_2O محصول نهایی غالب باشد.



شکل ۷-۱۳ عمق انتشار نیتراژ در یک خاک اکسی سول در کشور کنیا قبل از کشت ذرت، و درخت سریع الرشد سببایا (شروع) و بعد از ۱۶ ماه کشت ۳ محصول ذرت با مصرف کود و همچنین کود و همچنین ۱۶ ماه پس از رشد سببایا توجه کنید که سببایا نیتراژ را تا عمق حدود ۲ متر کاهش داده است. مطالعات دیگر ریشه نشان داد که ۳۱ درصد ریشه سببایا در عمق ۲/۵ تا ۴ متر قرار دارد.

معمولاً وقتی میزان اکسیژن خیلی پایین باشد محصول نهایی که از کل فرایند نیترازدایی آزاد می شود گاز دی نیتروژن N_2 است. باید توجه داد که NO و N_2O معمولاً در طول نیترازدایی در شرایط تهویه پرنوسان، که اغلب در مزرعه وجود دارد ایجاد می شوند (شکل ۸-۱۳). به نظر می رسد نسبت تولید سه گاز اصلی تحت سیطره pH ، دما، میزان تخلیه اکسیژن و غلظت بین های نیتراژ و نیتراژ موجود باشد برای مثال وقتی غلظت نیتراژ و نیتراژ بالا بوده و تأمین اکسیژن خیلی پایین نباشد سبب آزاد شدن اکسید نیترو (N_2O) خواهد بود. در شرایط بسیار اسیدی تمام هدررفت به صورت N_2O می باشد. هدررفت به شکل اکسید نیتریک (NO) معمولاً اندک بوده و ظاهراً در شرایط اسیدی بسیار آسان صورت می گیرد.

آلودگی نیوار

گاز دی نیتروژن (N_2) کاملاً بی اثر بوده و از نظر محیطی بی خطر می باشد اما اکسیدهای نیتروژن گازهای پرواکشن بوده و دارای توان ایجاد صدمات محیطی از چهار طریق زیر می باشد.

۱- NO و N_2O آزاد شده بر اثر نیترازدایی می توانند اسید نیتریک تشکیل دهند که یکی از اجزای باران های اسیدی است.

۲- گازهای اکسید نیتروژن می توانند با آلایند های آلی فرار واکنش انجام داده و اُزن سطحی^۱ تولید می کنند که یکی از آلاینده های هوا و دود نوریسمی^۲ می باشد که بسیاری از مناطق شهری را به سته آورده است.

۳- NO به نیوار فوقانی صعود کرده با جذب اشعه مادون قرمز به اثرات گلخانه ای کمک خواهد نمود (بخش ۲-۱۲)، در نبود NO اشعه به فضای خارج جو فرار خواهد کرد. اثر گلخانه ای NO ۳۰۰ بار از CO_2 در مقادیر مساوی بیشتر است.

۴- مهم تر از همه این که وقتی N_2O به نیوار صعود می کند می تواند در واکنش هایی که در تخریب اُزن گازی O_3 (که همانند سپری کره ی زمین را از اشعه مرگ بار ماورای بنفش خورشیدی محافظت می کند) شرکت کند. این لایه در سال های اخیر به دلیل واکنش با CFC های^۳ صنعتی و

^۱ -Ground level ozone

^۲ -Photochemical smog

^۳ -Chlorofluorocarbohydrites

همین‌طور با N_2O و سایر گازها مقداری تخلیه گردیده است و بر اثر تخریب بیشتر هر ساله این لایه سبب بروز سرطان‌های پوستی ظهور خواهد شد. درحالی‌که منابع مهم دیگری از N_2O مانند دود حاصل از آگزوز اتومبیل‌ها وجود دارد، تقویت این منبع عمدتاً به‌وسیله نیترات‌زدایی در خاک به‌خصوص در شالیزارها، اراضی ماندابی و خاک‌های زراعی با معرف سنگین کود شیمیایی و کود دامی انجام می‌شود.

مقدار هدررفت نیتروژن در فرایند نیترات‌زدایی

همان‌طور که باید انتظار داشت، برآورد مقدار واقعی هدررفت حاصل از نیترات‌زدایی مشکل، و در ارتباط با عملیات مدیریتی و شرایط خاکی است. مطالعات بوم‌سامان جنگلی نشان داده‌اند که در دوره‌های با رطوبت کافی خاک، نیترات‌زدایی سبب هدررفت نسبتاً یکنواخت اما آرام نیتروژن از این نظام طبیعی دست‌نخورده شده است. برعکس، اکثر اندازه‌گیری‌های هدررفت نیتروژن گازی در خاک‌های زراعی مشخص کرده است که، هدررفت در زمان و مکان بسیار متغیر است. بخش بزرگی از هدررفت سالانه نیتروژن درست در طول چند روز در تابستان صورت می‌گیرد؛ که باران‌های سنگین سبب می‌شوند که خاک گرم دارای تهویه ضعیف گردد (شکل ۹-۱۳).

اراضی پست غنی از ماده‌ی آلی و سایر نقاط گرم ممکن است ۱۰ برابر سریع‌تر از میزان متوسط یک مزرعه نیتروژن از دست دهند. گرچه هدررفت نیتروژن ممکن است در یک روز در اثر مرطوب‌کردن ناگهانی یک خاک دارای زه‌کشی خوب در یک منطقه مرطوب به ۱۰ کیلوگرم در هکتار برسد، این خاک‌ها به‌ندرت بیشتر از ۵ تا ۱۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در سال به‌وسیله نیترات‌زدایی از دست می‌دهند (جدول ۲-۱۳). اما وقتی زه‌کشی خاک محدود بوده و مقادیر زیادی کود شیمیایی نیتروژنی مصرف گردد، هدررفت قابل‌توجهی را باید انتظار داشت. هدررفت ۳۰ تا ۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در سال در نظام‌های کشاورزی مشاهده شده است.

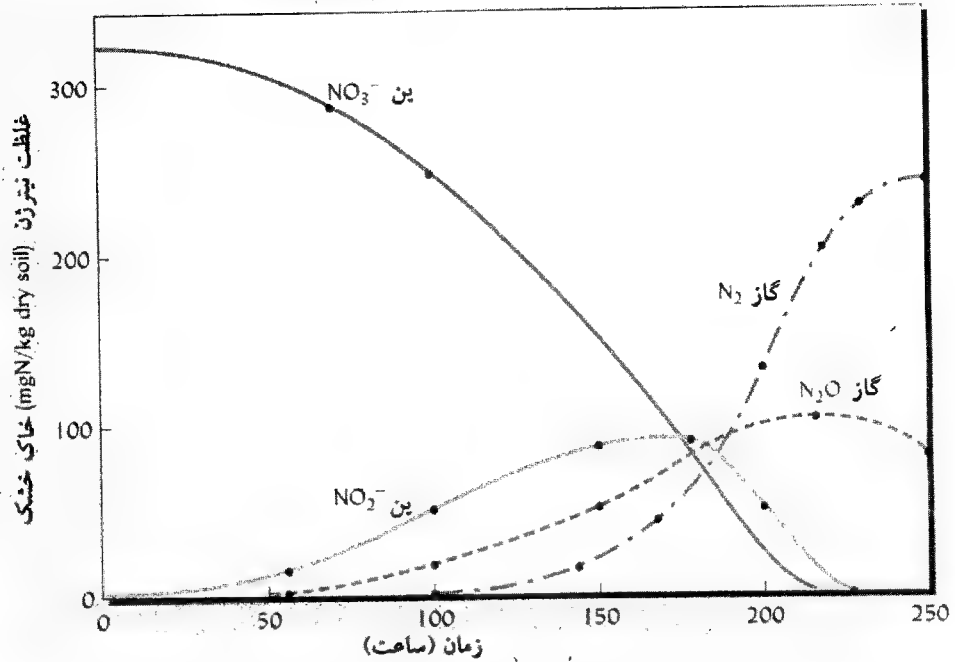
جدول ۲-۱۳ میزان نیتروژن ورودی به خاک از کودهای دامی و شیمیایی در سه کشور اروپایی

برداشت نیتروژن به‌وسیله محصولات زراعی و نیتروژن باقی‌مانده جذب‌نشده نشان داده شده است. بعضی از نیتروژن‌های باقی‌مانده در داخل ماده‌ی آلی قرار داشته اما اکثر آن در اثر آبشویی، رواناب و بخارشدن به نیوار وارد می‌شوند.

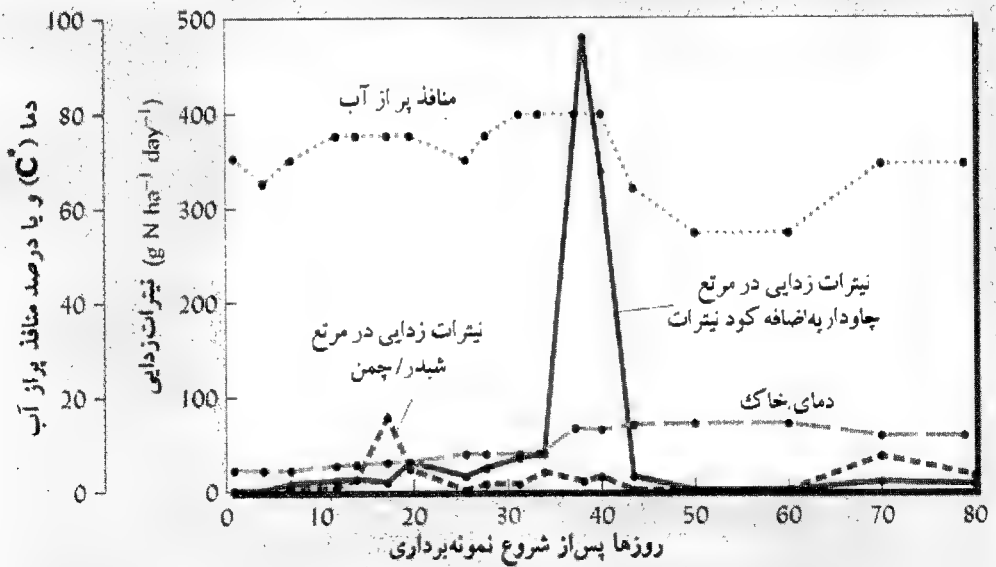
کشور	کود دامی	کود شیمیایی	کل	نیتروژن جذب شده به‌وسیله محصولات برحسب ۱۰۰۰ تن		نیتروژن باقی‌مانده	
				کل	برحسب ۱۰۰۰ تن	کل	کیلوگرم در هکتار
بلژیک/لوگزامبورگ	۳۸۰	۱۹۹	۵۸۰	۲۱۱	۳۶۹	۲۴۰	
دانمارک	۴۳۴	۳۸۱	۸۱۶	۲۸۷	۵۲۹	۱۸۷	
هلند	۷۵۲	۵۰۴	۱۲۵۵	۲۸۵	۹۷۰	۴۸۰	

جدول ۳-۱۳ سرنوشت نیتروژن مصرف‌شده در دو آزمایش یکی در ایالت اوهایو و دیگری در منطقه‌ای با رطوبت کمتر در اوکلاهما. در منطقه مرطوب‌تر (اوهایو)، هدررفت به‌وسیله آبشویی و تصعید بسیار بیشتر از منطقه خشک‌تر (اوکلاهما) است.

سرنوشت نیتروژن مصرف شده	ذرت خوشه‌ای و سودان‌گراس (در اوکلاهما) %	ذرت (اوهایو) %
جذب گیاه	۶۰	۲۹
ماده‌ی آلی خاک	۳۳	۲۱
آبشویی شده	۰	۳۳
هدررفت گازی	۷	۱۷
	۱۰۰	۱۰۰



شکل ۸-۱۳ تغییر در اشکال مختلف نیتروژن در طول فرایند نترات‌زدایی در یک خاک مرطوب که در نبود اکسیژن نیواری نگهداری شده است



شکل ۹-۱۳ تغییرات در نترات‌زدایی و شرایط خاک در بهار در یک خاک دارای زه‌کشی خوب اما با بافت نسبتاً سنگین (لوم رسی سیلت دار ایست کسویک یدالف^۱) در ایالت ولز انگلستان. دو نظام مرتعی مورد مطالعه قرار گرفت. چاودار که هر سال ۱۵۰ کیلو نیتروژن دریافت میداشت و مخلوط شبدر و چمن. میزان نیتروژنی کود شیمیایی مصرف‌شده در نظام چاودار به منظور یکسان‌نمودن نیتروژن با مقدار نیتروژن تثبیت‌شده در نظام شبدر و چمن به‌طور تقریبی برابر بود (بخش ۱۱-۱۳ را مشاهده کنید). به سرشت متغیر گاه‌به‌گاهی فرایند نترات‌زدایی توجه داشته باشید. بیشترین هدررفت نیتروژن در یک دوره کوتاه که خاک گرم، مرطوب، و دارای نترات زیاد است، صورت می‌گیرد. این روند مخصوص نظام‌های دست‌خورده بوم‌سامان کشاورزی بوده، و با روند آرام پیوسته نترات‌زدایی که معمولاً در جنگل‌های طبیعی دست‌نخورده یافت می‌شود، در تعارض است.

^۱ - East Keswick silty clay loam, Udalfs

نیترات زدایی در خاک های غرقابی

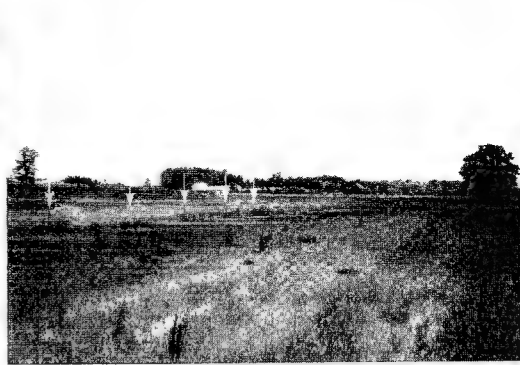
در خاک های غرقابی، مانند آن هایی که در اراضی باتلاقی و برنجزارها یافت می شود (شکل ۱۰-۱۳ الف)، ممکن است هدررفت به وسیله نیترات زدایی بسیار زیاد باشد. نیترات ممکن است به وسیله جریان های طفیانی و یا بر اثر نیتراتی شدن در شرایط هوازی موضعی به خاک برسد (چند سانتی متر فوقانی). این نیترات ممکن است بعداً به مناطق غیرهوازی منتقل گردد، بنابراین در یک خاک، نیتراتی شدن و نیترات زدایی می تواند همزمان صورت گیرد.

اگر کود نیتروژنی مصرف شده در زراعت برنج امکان نیتراتی شدن پیدا کند، اکثر آن بعداً به صورت اکسیدهای نیتروژن و یا نیتروژن عنصری تبخیر می شود. جدول ۴-۱۳ هدررفت اکسید نیترو را از یک شالیزار نشان می دهد، که ابتدا امکان زه کشی سبب نیتراتی شدن آن گردید و پس از غرقاب شدن مجدد در معرض نیترات زدایی قرار گرفت. هر چند از این اتلاف می توان با ماندایی نگه داشتن خاک و جایگذاری عمیق کود در منطقه ایحیاء خاک ممانعت کرد. در این منطقه اکسیژن کافی برای پیشرفت نیتراتی شدن وجود ندارد. بنابراین نیتروژن در شکل آمونیومی باقی مانده و در معرض هدررفت بر اثر نیترات زدایی قرار نمی گیرد (شکل ۱۱-۱۳).

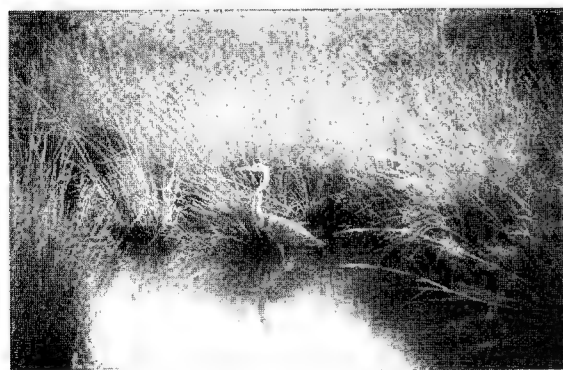
تناوب نیتراتی شدن و نیترات زدایی در اراضی باتلاقی طبیعی و مصنوعی نیز می تواند صورت گیرد. اراضی باتلاقی حاصل از جزرومد (شکل ۱۰-۱۳ ب را مشاهده کنید)، که به طور متناوب با بالا آمدن و پایین رفتن آب دارای شرایط هوازی و غیرهوازی می شود دارای توان بالایی برای تبدیل نیتروژن به اشکال گازی می باشد. هدررفت سریع نیتروژن به عنوان یک نقش مثبت اراضی باتلاقی محسوب می شود. در این فرایند، دریاچه ها و مصب ها از اثرات غنی شدن حاصل از نیتروژن زیاد محافظت می گردند. در حقیقت می توان فاضلاب غنی از کربن آلی و نیتروژن را به طور بسیار مؤثری با جریان آرام آن بر روی یک خاک اشباع طراحی شده خاص، در فرایندی که اصلاح فاضلاب با جریان روستطیحی نامیده می شود^۱، کاملاً تمیز کرد (شکل ۱۰-۱۳ ج را مشاهده کنید).



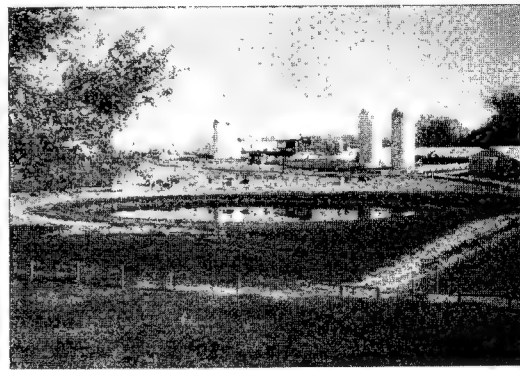
(الف)



(ب)



(پ)



(د)

شکل ۱۰-۱۳ نیترات زدایی در برداشت نیتروژن از نظام های غرقابی که دارای مناطق هوازی و غیرهوازی و غلظت بالایی از کربن آلی است دارای پتانسیل بالایی می باشد. نمونه ای از این نظام ها عبارتند از: (الف) شالیزارهای غرقابی، (ب) اراضی باتلاقی جزرومدی، (ج) منطقه ای اصلاح فاضلاب به وسیله جریان روستطیحی (فاضلاب به وسیله آبیاری بارانی توزیع می شود. پیکان ها را مشاهده کنید) و (د) یک استخر ذخیره کود و فاضلاب دامی

نیترات‌زدایی در آب زیرزمینی

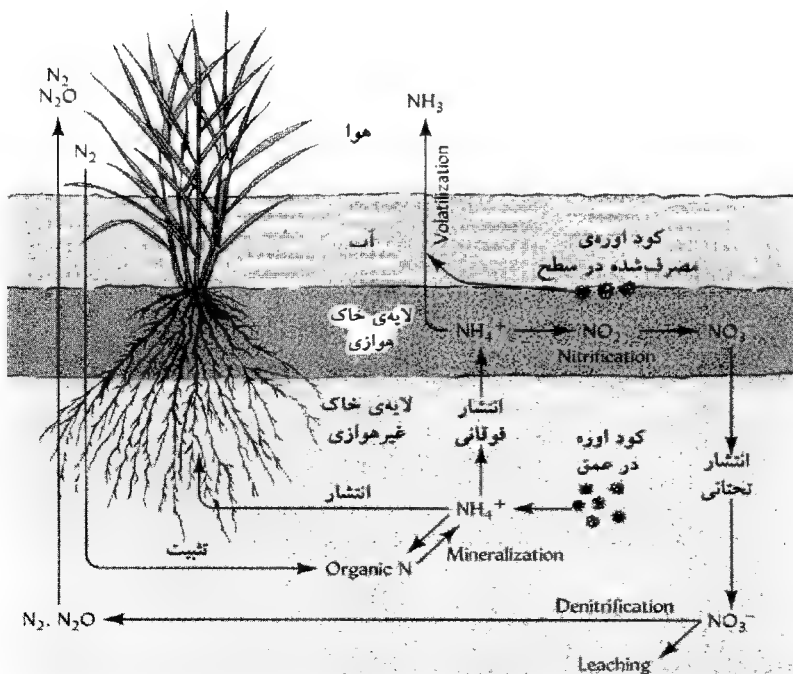
مطالعات جدید در مورد حرکت نیترات در آب زیرزمینی اهمیت نیترات‌زدایی را در خاک‌های دارای زه‌کشی ضعیف و تحت پوشش رپارین (اراضی درخت‌زار کنار رودخانه) مشخص کرده است. در اکثر موارد مطالعه‌شده در مناطق مرطوب معتدل، آب زیرزمینی آلوده‌شده اکثر نیترات خود را با عبور از منطقه‌ی کنارآبی (رپارین) به‌سوی رودخانه از دست می‌دهد. میزان برداشت ظاهری نیترات، چه منبع آن میدان‌های زه‌کشی فاضلاب باشد و یا اراضی زراعی کودخورده، می‌تواند بسیار تعجب‌آور باشد (شکل ۱۲-۱۳). اعتقاد بر این است که بیشتر نیترات بر اثر نیترات‌زدایی تحت تأثیر ترکیبات آلی آبشویی شده از لاشبرگ در حال تجزیه‌ی جنگلی و در شرایط غیرهوازی که در خاک‌های مرطوب کنارآبی موجود است، تلف می‌گردند.

جدول ۴-۱۳ خروج اکسید نیترو (N_2O) از شالیزارهای پست آبیاری‌شده در کشور فیلیپین که نیتروژن را با به‌تنهایی از کود اوره و یا از ترکیب اوره همراه با کود سبز و یا بقایای کاه و کلش دریافت داشته است.

خاک مقادیر زیادی از N_2O را فقط در زمان آیش که ایام خشک (که امکان هوادارشدن خاک به‌اندازه کافی برای انجام فرایند نیتراتی‌شدن و تولید نیترات فراهم گردد) در تناوب با ایام مرطوب (که طی آن شرایط غیرهوازی امکان نیترات‌زدایی را فراهم کند) قرار می‌گرفت، از دست داد. از آن‌جاکه کود سبز و کاه اثر اندکی بر هدررفت N_2O داشتند به‌نظر می‌رسد که خاک کربن قابل تجزیه‌ی کافی برای حمایت نیترات‌زدها داشته‌است. مطالعات تکمیلی نشان داد مقادیر قابل توجهی گاز N_2 همراه با N_2O آزاد گردید.

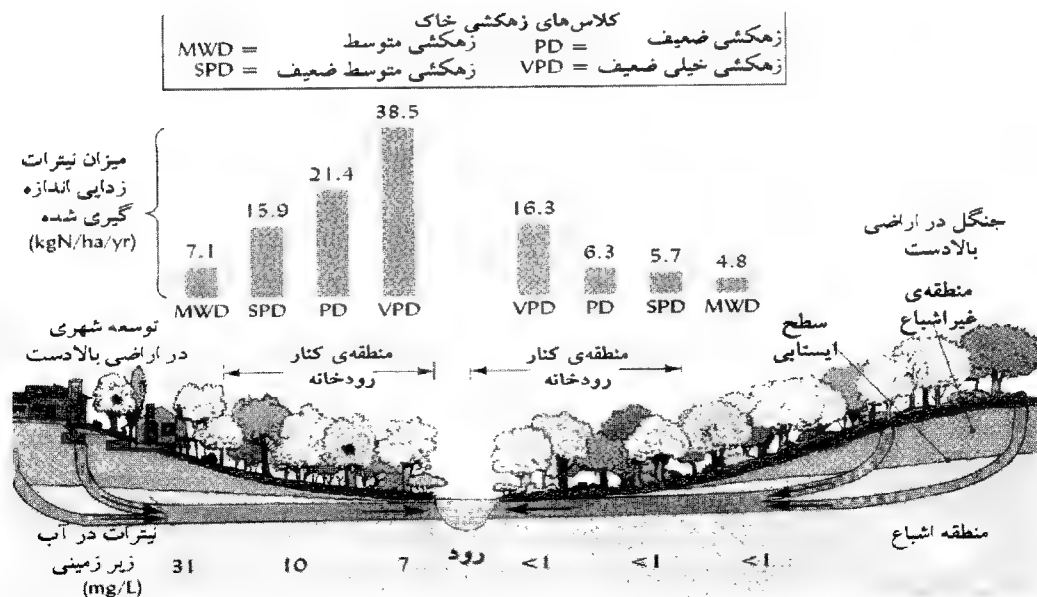
منبع نیتروژن	آزادشدن اکسید نیترو (N_2O) میلی گرم نیتروژن در متر مربع			
	برنج در فصل خشک ۱۱۱روز	آیش ۳۶ روز	برنج در فصل مرطوب ۹۸ روز	آیش ۸۹ روز
اوره	۹	۱۷۱	۱۳	۱۹
کود سبز و اوره	۱۲	۱۸۳	۶	۱۸
کاه و اوره	۶	۱۷۲	۶	۳۶

مقدار کود اوره در فصل خشک ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و در فصل مرطوب ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار کود سبز و کاه ۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در بافت گیاهی به اضافه ۱۴۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در فصل خشک و ۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در فصل مرطوب با مصرف کود اوره



شکل ۱۱-۱۳ واکنش‌های نیتراتی‌شدن و نیترات‌زدایی و پویایی فرایندهای مربوطه که مهارکننده هدررفت نیتروژن از لایه‌های هوازی و غیرهوازی در نظام خاک‌های غرقابی می‌باشد. نیترات‌ها که در لایه‌های نازک هوازی، درست در زیر فصل مشترک آب و خاک تشکیل می‌شوند به‌داخل لایه‌های غیرهوازی خاک زیرین (منطقه احیاء) انتشار یافته و به گازهای N_2 ، N_2O تبدیل می‌شوند (نیترات‌زدایی) که در نیوار تلف می‌شوند. جای‌گذاری کودهای اوره و آمونیوم در بخش غیرهوازی عمیق از اکسایش بن آمونیوم به نیترات جلوگیری کرده بنا براین هدررفت را کاهش می‌دهد.

این که حذف نیتروژن به وسیله نترات زدایی حقیقتاً برای محیط زیست مفید است، بستگی دارد که کدام گاز تولید شود. اگر مقادیر قابل توجهی N_2O و NO تولید شود، در آن صورت اراضی مرطوب و نظام جریان سطحی آلودگی آب را با آلودگی نیوار معامله خواهند کرد. ما هم اکنون تعدادی از فرایندهای زیستی را تشریح کردیم که سبب هدررفت نیتروژن از نظام خاک می شود. حال توجه خود را به اصول زیستی فرایندی معطوف خواهیم داشت که بر اثر آن نیتروژن جبران می گردد.

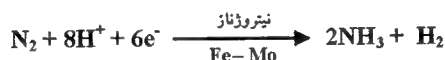


شکل ۱۲-۱۳ نترات زدایی در اراضی درختزار (ریبارین) مرطوب حاشیه رودخانه که آب زیر زمینی با نترات زیاد و کم دریافت می دارد. آب زیر زمینی دارای نترات زیاد (چپ) از مناطقی می آید که در آن ساختمان سازی به شدت توسعه یافته و از میدان های زهکشی برای دفع فاضلاب استفاده می شد. آب زیر زمینی دارای نترات کم (راست) از مناطق جنگلی بدون توسعه ساختمان سازی می آید. منطقه درختزار در هر دو طرف رودخانه از جنگل افرای قرمز غالب تشکیل شده بود. میزان نترات آب زیر زمینی آلوده بعد از چند متر عبور از اراضی درختزار مرطوب حدود ۴/۵ برابر کاهش یافت (۳۱ppm به ۷ppm). خاکها در این مطالعه آنسپتی سول و ایتی سول بسیار شنی بوده اند. در سایر منطقه های درختزار با خاک های دارای بافت ریز حتی سبب حذف کامل نترات آب زیر زمینی شده اند.

۱۰-۱۳ تثبیت زیستی نیتروژن^۱

بعد از سوخت و ساز نوری گیاهی تثبیت زیستی نیتروژن احتمالاً مهمترین واکنش زیست شیمی از نظر حیات بر روی زمین می باشد. در این فرایند موجودات خاص گاز دی نیتروژن بی اثر (N_2) را به ترکیبات آلی دارای نیتروژن تبدیل می کنند که برای تمام اشکال حیات در چرخه نیتروژن قابل استفاده است. فرایند به وسیله تعداد محدودی از ریز جانداران از جمله، گونه های متعددی از باکتری ها^۲، اکتینومیسیت ها^۳ و سیانوباکتری ها^۴ (جلبک سبز آبی) انجام می گیرد. مقادیر عظیمی نیتروژن سالانه به طور زیستی تثبیت می شود، فقط نظام های زمینی ۱۳۹ میلیون مگاگرم (تن متریک) یعنی دو برابر آن چه در کل کودهای شیمیایی نیتروژن وجود دارد، تثبیت می کنند.

سازوکار: سازوکار و کلید تثبیت زیستی نیتروژن به رغم ترکیب موجودات زنده، آنزیم نیتروژناز^۵ است که واکنش یار (کاتالیزور) احیای گاز نیتروژن طبق واکنش زیر به آمونیاک می باشد.



آمونیاک نیز به نوبه ی خود با اسیدهای آلی ترکیب شده و اسید آمینه و دست آخر پروتیین تولید می کند.

^۱ -Biological Nitrogen Fixation

^۲ -Bacteria

^۳ -Actinomycetes

^۴ -Cynobacteria

^۵ -Nitrogenasae



عمل احیاء N_2 به وسیله آنزیم نیتروژناز انجام می‌شود که همسانی از دو پروتیین می‌باشد، پروتیین کوچک دارای آهن و پروتیین بزرگ هم دارای آهن و هم مولیبیدون است (شکل ۱۳-۱۳). چندین حقیقت آشکار درباره این آنزیم و نقش آن قابل بیان است زیرا نیتروژناز منحصر به فرد بوده و نقش آن در چرخه نیتروژن برای جامعه انسانی دارای اهمیت زیاد می‌باشد.

۱- احیاء N_2 به NH_3 به وسیله نیتروژناز نیازمند مقداری انرژی است تا بتواند پیوند سه گانه دو اتم نیتروژن ($\text{N} \equiv \text{N}$) را بشکند بنابراین فرایند در همکاری با گیاهان عالی که می‌توانند این انرژی را از طریق سوخت و ساز نوری به دست آورند تسریع خواهد شد.

۲- نیتروژناز در تماس با اکسیژن آزاد نابود می‌شود بنابراین موجود تثبیت کننده نیتروژن باید آنرا از دسترس اکسیژن دور نگاهدارد. وقتی تثبیت در گره‌های ریشه صورت می‌گیرد، یکی از راه‌های محافظت آنزیم در مقابل اکسیژن آزاد تشکیل لگه‌موگلوبین^۱ است که به گره‌ها رنگ قرمز داده و اکسیژن را در چنان پیوندی قرار می‌دهد که ضمن محافظت نیتروژناز، اکسیژن را برای تنفس سایر بخش‌های گره قابل استفاده می‌سازد.

۳- واکنش احیاء به وسیله محصولات نهایی دچار محدودیت می‌شود. تجمع آمونیاک سبب توقف تثبیت نیتروژن و وجود نترات در خاک از تشکیل گره‌ها ممانعت می‌کند.

۴- موجودات تثبیت کننده دارای نیاز نسبتاً بالایی به مولیدن، آهن، فسفر و گوگرد می‌باشند، زیرا این عناصر بخشی از مولکول نیتروژناز بوده و یا برای ساخت و استفاده از آن لازم می‌باشند

نظام تثبیت: تثبیت زیستی نیتروژن به وسیله تعدادی نظام‌های ریز جانداران با همکاری و یا بدون همکاری گیاهان عالی انجام می‌پذیرد (جدول ۶-۱۳). اگرچه نظام همزیستی گیاهان نیام‌دار- باکتری بیشترین توجه را به خود معطوف داشته است، یافته‌های جدید مطرح می‌کند که سایر نظام‌ها شامل خانواده‌های بیشتری از گیاهان در مقیاس جهانی می‌باشد و حتی با نظام‌های همزیست با نیام‌داران در تأمین نیتروژن زیستی در خاک رقابت می‌کنند. هر کدام از این نظام‌های عمده در زیر به اختصار مورد بررسی قرار خواهند گرفت:

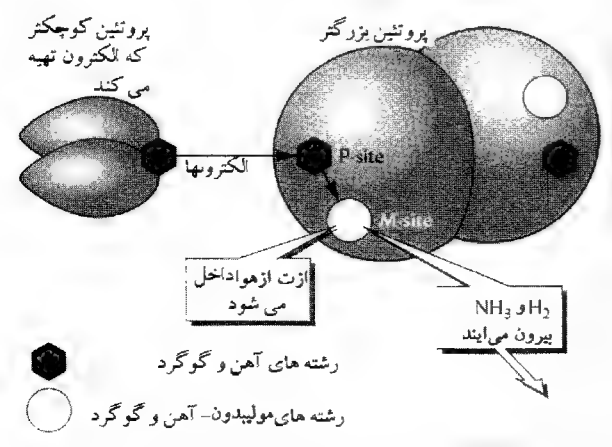
جدول ۵-۱۳ تثبیت جهانی نیتروژن از منابع مختلف

منبع تثبیت نیتروژن تثبیت (10^6 امگا گرم)	مساحت (10^6 هکتار)	میزان (Kg/ha)	ازت تثبیت شده در سال مقدار کل (10^6 امگا گرم)
تثبیت زیستی			
گیاهان نیام‌دار	۲۵۰	۱۴۰	۳۵
گیاهان غیر نیام‌دار	۱۱۵۰	۸	۹
مرغزارها و چمن‌زارها	۳۰۰۰	۱۵	۴۵
جنگل‌ها و اراضی درخت‌زار	۴۱۰۰	۱۰	۴۰
سایر اراضی دارای پوشش	۴۹۰۰	۲	۱۰
اراضی زیر پوشش یخ	۱۵۰۰	۰	۰
کل مساحت	۱۴۹۰۰	---	۱۳۹
دریا	۳۶۱۰۰	۱	۳۶
کل زیستی	۵۱۰۰۰	---	۱۷۵
رعد و برق	---	---	۸
صنعت کود	---	---	۷۷
جمع کل	---	---	۲۶۰

^۱ Leghemoglobin، در واقع دارای همان مولکول hemoglobin است که در صورت اکسایش، به خون انسان رنگ قرمز می‌دهد. استفاده از هموگلوبین برای ایفای اساساً همان نقش‌های مشابه در گره‌های ریشه‌ای نیام‌داران و خون پستانداران، مثالی اعجاب‌انگیز از گرایش محافظه کارانه طبیعت و وحدت کل زندگی است.

جدول ۶-۱۳ اطلاعاتی در مورد نظام‌های مختلف تثبیت نیتروژن

نظام‌های تثبیت نیروژن	موجودات مؤثر	گیاهان مؤثر	محل تثبیت
همزیست الزامی^۱ - خانواده نیام‌داران	باکتری ریزوبیوم و برادی ریزوبیوم	خانواده نیام‌داران	گره ریشه
- غیر نیام‌دار (نهان‌زادان)	اکتینومیست (فرانکیا)	غیر نیام‌دار - نهان‌زادان	گره ریشه
همکاری و اتحاد^۲ - شرکت در ایجاد شکل ظاهری	سیانوباکتری - باکتری	گیاهان عالی مختلف در ریز جانداران	گره برگ و ریشه و گل‌سنگ (قارچ و جلبک)
- عدم شرکت در ایجاد شکل ظاهری	سیانوباکتری - باکتری	گیاهان عالی مختلف ریز جانداران	ریزوسفر (ریشه‌سپهر) و فیلسفر (برگ‌سپهر)
غیر همزیست^۳	سیانوباکتری - باکتری	در گیاهان موجود نمی‌باشد	آب، خاک مستقل از نباتات



شکل ۱۳-۱۳ همتافت نیتروژن شامل دو نوع پروتیین است. پروتیین بزرگتر با استفاده از الکترونهای تهیه‌شده به‌وسیله پروتیین کوچکتر N_2 نیوار را به NH_3 تبدیل می‌کند. محل‌های M بروی پروتیین بزرگتر دی‌نیتروژن (N_2) را از هوا گرفته، درحالی‌که محل‌های P الکترونهای تهیه‌شده به‌وسیله مولکول کوچکتر را دریافت می‌دارد تا N_2 بتواند به NH_3 احیاء گردد.

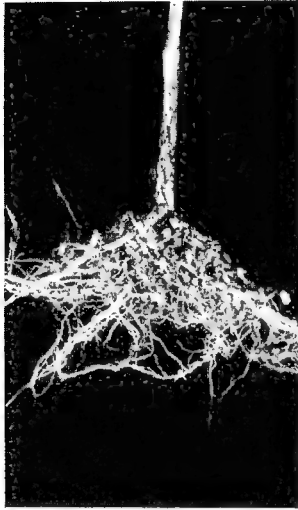
۱۱-۱۳ تثبیت همزیست با خانواده‌ی نیام‌داران

همزیستی (رابطه‌ی دوجانبه سودمند) نیام‌دار و باکتری‌های دارای جنس ریزوبیوم و برادی‌ریزوبیوم منبع عمده نیتروژن تثبیت‌شده‌ی زیستی در خاک‌های زراعی است. جنس *Rhizobium* شامل باکتری‌های سریع‌الرشد و تشکیل‌دهنده اسید بوده درحالی‌که *Bradyrhizobia* گونه‌های دارای رشد بطنی بوده که اسید تشکیل نمی‌دهند. هر دو این گونه‌ها باهم مورد بررسی قرار خواهند گرفت. این موجودات ریشه‌های مویی و یاخته‌های خارجی ریشه را آلوده کرده و گره‌هایی را در ریشه ایجاد می‌کنند که محلی برای تثبیت نیتروژن می‌باشد (شکل ۱۴-۱۳). در یک مشارکت دوجانبه‌ی سودمند گیاه میزبان کربوهیدرات‌ها را برای تأمین انرژی موردنیاز باکتری تهیه کرده، و باکتری با تأمین ترکیبات نیتروژن تثبیت شده برای گیاه عالی آن‌را جبران می‌کند.

موجودات شرکت کننده: یک ریزوبیوم و یا برادی ریزوبیوم خاص در بعضی از نیام داران آلودگی ایجاد کرده و در بعضی دیگر آلودگی ایجاد نمی کند. برای مثال *Rhizobium trifolii* گونه های *Trifolium* را آلوده می کند، لکن شبدر زرد را که دارای جنس *Melilotus* است آلوده نمی کند. به همین ترتیب *Rhizobium phaseoli* لوبیای معمولی *Phaseolus vulgaris* را آلوده کرده و سویا را که جنس *Glycine* می باشد، آلوده نمی کند. این واکنش اختصاصی پایه ای برای تقسیم بندی ریزوبیوم ها (جدول ۷-۱۳ را مشاهده کنید) می باشد. نباتات نیام دار که می توانند به وسیله ی گونه ای خاص از *Rhizobium* تلقیح گردند در همان گروه تلقیح قرار می گیرند.

¹ -Obligatory symbiotic² -Associative involvement³ -Nonsymbiotic

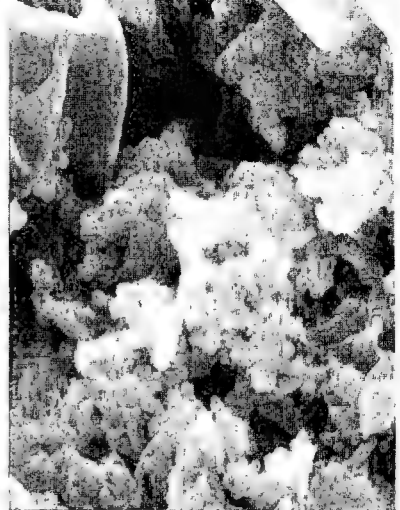
در مناطقی که یک نیام‌دار خاص برای سال‌ها کشت شده است، گونه‌ی مناسب *Rhizobium* احتمالاً در خاک حضور دارد. گرچه جمعیت طبیعی ریزوبیوم در خاک اغلب بسیار پایین بوده و یا نژادهای موجود گونه *Rhizobium* غیر مؤثر می‌باشند (شکل ۱۵-۱۳). در این شرایط، مخلوط مناسب از ریزوبیوم و برادی ریزوبیوم می‌تواند با پوشش دادن بذور نیام‌دار و یا با توزیع ماده تلقیحی مستقیماً در خاک، مورد استفاده قرار گیرد. نژادهای مؤثر و رقیب گونه *Rhizobium* که به‌طور تجاری موجود می‌باشند، در صورت استفاده اغلب سبب افزایش عملکرد فقط برای یک نبات خاص می‌شوند. ممکن است شما هنگام برنامه‌ریزی تناوب نیام‌داران و یا خرید ماده‌ی تلقیحی تجاری، به جدول ۷-۱۳ مراجعه کنید.



(الف)



(ب)



(ج)

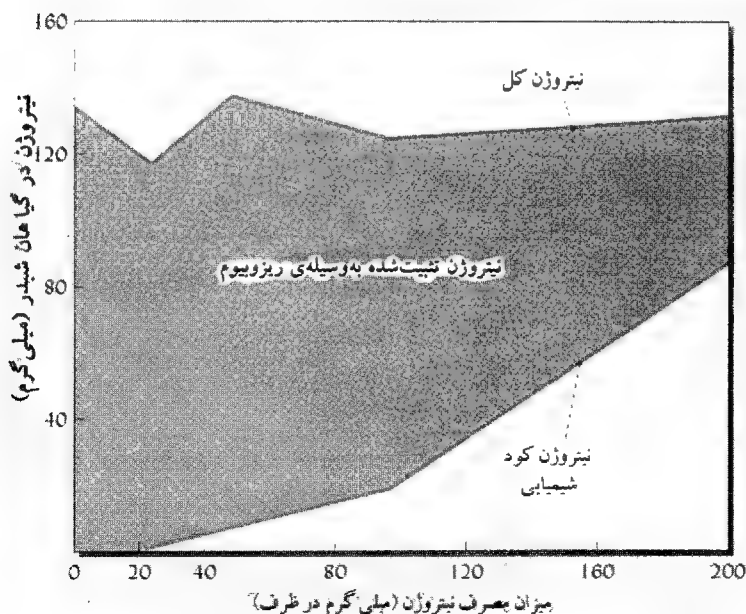
شکل ۱۳-۱۴ عکس‌ها گره‌های سویا را نشان می‌دهد. (الف) گره‌ها در روی ریشه‌های نبات سویا دیده می‌شوند، و نمای نزدیک (شکل ب) نشان می‌دهد که تعدادی از گره‌ها با ریشه‌ها اشتراک دارند. یک ریزعکس الکترونیکی ردیاب (ج) یک یاخته گیاهی را در داخل گره‌ها که با باکتری *Bradyrhizobium japonicum* پر شده است نشان می‌دهد.



شکل ۱۵-۱۳ این محصول سویا در شرق آفریقا کلاً از بین رفته است. بذورهای سویا با باکتری مخصوص آن قبل از کشت در زمین تازه جنگل‌تراشی شده که قبلاً در آن سویا کشت نگردیده تلقیح نشده است.

میزان نیتروژن تثبیت‌شده: میزان تثبیت زیستی نیتروژن تا حد زیادی وابسته به شرایط خاک و اقلیم است، همزیستی نیام‌دار و ریزوبیوم معمولاً در خاک‌هایی که خیلی اسیدی نیستند (همزیستی برادی ریزوبیوم معمولاً می‌تواند اسیدیته نسبتاً قابل‌توجهی را تحمل کند). در صورت تأمین عناصر غذایی اصلی به بهترین وجه صورت می‌پذیرد. هرچند مقادیر زیاد نیتروژن قابل‌استفاده، چه موجود در خاک و چه اضافه شده به صورت کودهای شیمیایی سبب کاهش تثبیت زیستی نیتروژن می‌گردد (شکل ۱۶-۱۳). گیاهان ظاهراً انرژی زیاد مورد نیاز تثبیت زیستی نیتروژن را تنها هنگامی تأمین خواهند کرد که مقادیر اندک نیتروژن معدنی تثبیت نیتروژن را ناگزیر سازد.

میزان تثبیت زیستی نیتروژن اگرچه محل به محل کاملاً متغیر است، می‌تواند کاملاً بالا باشد، به‌خصوص در نظام‌هایی که شامل گره‌ها بوده، امکان تأمین انرژی را از سوخت‌وساز نوری و شرایط حفظ آنزیم نیتروژناز را فراهم آورد (جدول ۸-۱۳). نظام‌های بدون گره و یا نظام‌های غیرهمزیست معمولاً مقدار نسبتاً کمتری نیتروژن را تثبیت می‌کنند. هرچند بسیاری از جوامع گیاهی و نظام‌های کشاورزی (معمولاً شامل نیام‌داران) حجم زیادی از نیازهای نیتروژن خود را از طریق تثبیت زیستی نیتروژن مرتفع می‌سازند.

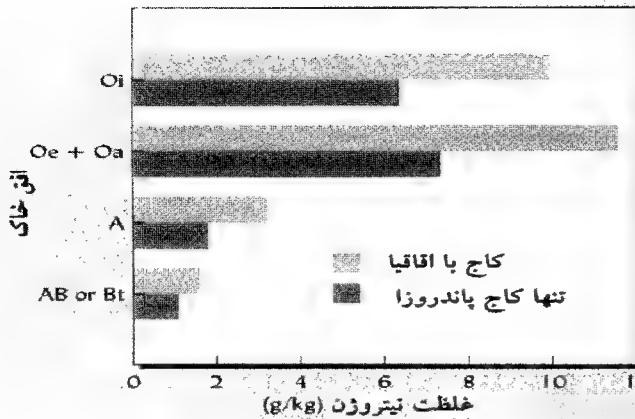


شکل ۱۶-۱۳ تأثیر نیتروژن معدنی اضافه‌شده بر میزان نیتروژن کل نبات شبدر. نسبت نیتروژن تأمین‌شده به‌وسیله کودشیمیایی و تثبیت‌شده به‌وسیله ریزوبیوم همزیست با ریشه شبدر. افزایش میزان مصرف نیتروژن، میزان نیتروژن تثبیت‌شده به‌وسیله ریزجانداران را در این آزمایش گلخانه‌ای کاهش داد.

جدول ۷-۱۳ طبقه‌بندی باکتری‌های ریزوبیوم و گروه‌های هم تلقیح نیام‌دار. جنس *Rhizobium* شامل باکتری‌های دارای رشد سریع و تولیدکننده است، در صورتی که جنس *Bradyrhizobium* باکتری‌های دارای رشد کند بوده و اسید تولید نمی‌کنند. جنس *Azorhizobium* که در جدول نیامده است، سبب تولید گره‌های در ساقه‌ی درخت *Sesbania rostrata* می‌شود.

گیاه میزبان	باکتری	
	جنس	گونه/زیرگونه
<i>Rhizobium</i>		
ماشک <i>Vicia</i> ، نخودفرنگی <i>Pisum</i> ، عدس <i>Lens</i> ، خلر <i>Lathyrus</i>	<i>R. loguminosarum</i>	<i>bv.viceae</i>
اکثر شبدرها <i>Trifolium spp.</i>	<i>R. loguminosarum</i>	<i>bv.trifolii</i>
لوبیا خشک، لوبیا رونده... <i>Phaseolus spp.</i>	<i>R. loguminosarum</i>	<i>bv.phaseoli</i>
شبدر شیرین <i>Melilotus</i> ، یونجه <i>Medicago</i> ، شبلیله <i>Trigonella</i>	<i>R. meliloti</i>	
سه‌پر <i>Lotus</i> ، لوبین <i>Lupinus</i> ، نخود <i>Cicer</i> ، <i>Anthyllus</i> ، <i>Leucaena</i>	<i>R. loti</i>	
گونه‌های لوبیا روغنی <i>Glycine</i>	<i>R. fredii</i>	
<i>Bradyrhizobim</i>		
گونه‌های لوبیا روغنی <i>Glycine</i>	<i>B. japonicum</i>	
گاودانه <i>Vigna</i> ، بادام زمینی <i>Arachis</i> ، لوبیاچشم بلیلی <i>Cajanus</i>	<i>B. sp</i>	
کودزا <i>Pueraria</i> ، کرتولاریا <i>Crotolaria</i> ، و بسیاری از نیام‌داران گرمسیری		

اثر میزان نیتروژن خاک: اطلاعات موجود در جدول ۸-۱۳ نشان می‌دهد که تثبیت زیستی نیتروژن هم برای کشاورزی و هم برای جنگل سودمند است. این منبع نیتروژن برای اکثر سوزنی‌برگان و پهن‌برگان، گندمیان و سبزی‌ها، که فاقد ارتباطات همزیستی هستند، غیرقابل استفاده است، مگر این که آن‌ها همراه با گونه‌های گره‌دار کاشته گردند. در طول زمان حضور گونه‌های تثبیت‌کننده نیتروژن می‌تواند میزان نیتروژن خاک را به‌طور قابل ملاحظه‌ای بالا برده و گونه‌های غیر تثبیت‌کننده را که همراه با گونه‌های تثبیت‌کننده کاشت شده‌اند، بهره‌مند سازد (شکل ۱۷-۱۳ را مشاهده کنید).



شکل ۱۷-۱۳ میزان نیتروژن افق‌های خاک جنگلی که بیانگر اثرات درخت افاقای مکزیکی (*Robinia neomexicana*) همراه با کاج پاندروزا^۱ (*Pinus ponderosa*) در منطقه‌ای از آریزونا با ۶۷۰ میلی‌متر بارندگی سالانه می‌باشد. اعداد میانگین ۲۰ قطعه‌زمین درخت کاج می‌باشد که نصف آنها همراه درختان نیام‌دار تثبیت‌کننده نیتروژن (افاقیا) در زیراشکوب خود می‌باشند. خاک‌ها اوتروستالف^۲ و ارجیوستول^۳ با بافت لومی و لومی‌رسی می‌باشند.

همان‌طور که گفته شد تثبیت نیتروژن هنگامی که اشکال معدنی نیتروژن برای جذب گیاه قابل استفاده باشد، دچار محدودیت می‌شود. حتی موقعی که همزیستی تثبیت نیتروژن استقرار یافت، گیاهان ترجیح می‌دهند که از نیتروژن خاک در صورت دسترسی به آن از منابعی مانند نیتروژن معدنی شده از ماده‌ی آلی، نیتروژن موجود در باران و یا کودهای شیمیایی استفاده کنند. بعضی از نباتات مانند لوبیا و نخود چنان در تثبیت نیتروژن ضعیفند که اکثر نیتروژنی که جذب می‌کنند، از خاک تأمین می‌شود. بنابراین نباید همیشه فرض کرد که نظام‌های همزیست سبب افزایش نیتروژن خاک می‌شوند. فقط زمانی که خاک از نظر نیتروژن قابل استفاده فقیر است و گیاهان شامل تثبیت‌کننده قوی نیتروژن باشند، به‌نظر می‌رسد این مسأله صادق باشد.

در مواردی که نبات نیام‌دار به‌منظور بذر و یا علوفه برداشت می‌شود، بیشترین نیتروژن تثبیت‌شده بر اثر برداشت از زمین خارج می‌شود. از نظر اضافه‌شدن نیتروژن، این نباتات باید به‌عنوان نباتات ذخیره‌کننده نیتروژن خاک، نه گیاهان افزاینده آن مورد ملاحظه قرار گیرند. از طرف دیگر افزایش قابل ملاحظه نیتروژن خاک می‌تواند به‌وسیله نباتات چندساله (مانند یونجه) و نباتات یک‌ساله (مانند خلر کرک‌دار) که تمام محصول آن‌ها به‌عنوان کود سبز به خاک برمی‌گردد، صورت گیرد. هنگام برآورد نیازهای کودی نیتروژن برای حداکثر تولید و حداقل آلودگی محیط زیست این افزایش نیتروژن باید در حساب منظور گردد (بخش ۴-۱۶ را مشاهده کنید).

سرنوشت نیتروژن تثبیت‌شده به‌وسیله‌ی باکتری‌های گیاهان نیام‌دار: نیتروژن تثبیت‌شده در گره‌های ریشه در سه مسیر قرار می‌گیرد: اول: مستقیماً به‌وسیله‌ی گیاه میزبان مصرف می‌شود که در آن‌صورت از مزایای همزیستی مورد بحث در بخش ۱۰-۱۳ به‌مقدار زیادی برخوردار می‌شود. بخشی از اندام‌های غنی از نیتروژن نبات ممکن است بعدها به‌عنوان پس‌مانده‌های گیاهی به خاک برگردد.

دوم: بخشی از نیتروژن تثبیت‌شده ممکن است برای گیاهان غیر تثبیت‌کننده که همراه گیاهان تثبیت‌کننده نیتروژن کشت می‌شوند، قابل استفاده گردد. گرچه انتقال مستقیم تاحدی از طریق ریشه فارچ-ریشه‌ها که دو گیاه را به‌هم وصل می‌کنند، امکان‌پذیر می‌گردد، بیشتر انتقال از طریق معدنی شدن ترکیبات غنی از نیتروژن موجود در ترشحات ریشه و بافت‌های جداشده ریشه و گره‌ها انجام می‌گیرد. آمونیوم و نترات آزادشده در داخل خاک برای هر نباتی که همراه نیام‌داران کشت می‌شود، قابل استفاده می‌باشد. رشد قوی علف گندمی در یک مخلوط علف گندمی - نیام‌دار (شکل ۱۸-۱۳)، و غلظت نسبتاً بالای نترات که بعضی مواقع در آب زیرزمینی در زیر گیاهان نیام‌دار اندازه‌گیری می‌شود، دلیلی بر آزادشدن سریع نیتروژن می‌باشد.

سوم: سومین مسیر برای نیتروژن تثبیت‌شده، عدم تحرک آن به‌وسیله ریزموجودات ناخودپرور و شرکت آن در داخل ماده‌ی آلی خاک است (فصل ۴-۱۳).

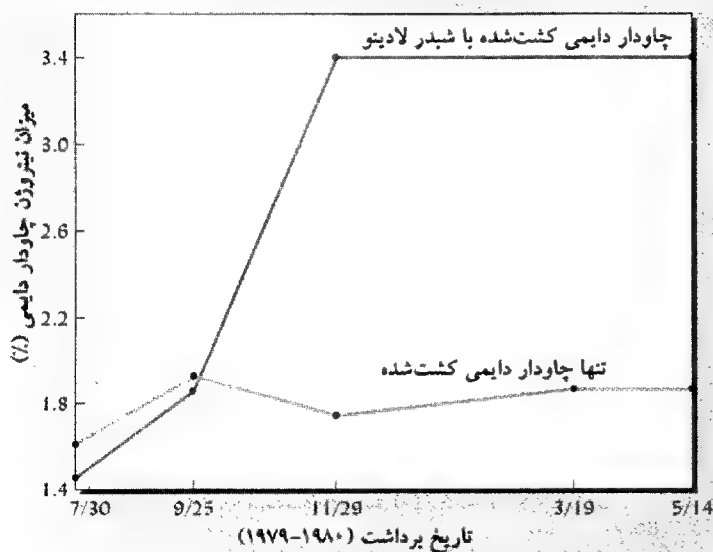
¹ -Ponderosa pine

² -Eutrastalfs

³ -Argiustolls

جدول ۸-۱۳ میزان تثبیت نیتروژن در نظام‌های مختلف

نبات و یا زراعت	موجود همراه	میزان نیتروژن تثبیت شده (بر حسب کیلوگرم در هکتار در سال)
همزیست خانواده نیام‌دار گره‌دار		
درخت اپیل اپیل <i>Leucena leucocephala</i>	باکتری ریزوبیوم	۵۰۰-۱۰۰
درخت افاقیا. <i>Robina spp</i>		۲۰۰-۷۲
یونجه <i>Medicago sativa</i>		۲۵۰-۱۵۰
شبدر. <i>Trifolium pretense L</i>		۱۵۰-۱۰۰
لوپین. <i>Lupinus sp</i>		۱۰۰-۵۰
خلر <i>Vicia vilbosa</i>		۱۵۰-۵۰
لوبیا <i>Phaseolus vulgaris</i>		۵۰-۳۰
گاو دانه <i>Vigna unguiculata</i>	باکتری برادی ریزوبیوم	۱۰۰-۵۰
بادام زمینی. <i>Arachis sp</i>		۸۰-۴۰
سویا. <i>Glycine max L</i>		۱۵۰-۵۰
لوبیا چشم بلبل. <i>Cajanus sp</i>		۲۸۰-۱۵۰
کودزو. <i>Pueraria sp</i>		۱۴۰-۱۰۰
خانواده غیر نیام‌دار گره‌دار		
توسکا <i>Alnus</i>	اکتینومیست فرانکیا	۱۵۰-۵۰
گونه‌های <i>Gunnera</i>	سیانوباکتری (نوستوک)	۲۰-۱۰
خانواده غیر نیام‌دار بدون گره‌دار		
چمن پانگولا ^۱ <i>Degetaria decumbens</i>	باکتری <i>Azospirillum</i>	۳۰-۵۰
چمن باهیا ^۲ <i>Pasalum notatum</i>	باکتری <i>Azotobacter</i>	۳۰-۵۰
آزولا ^۳	سیانوباکتر (<i>Anabena</i>)	۳۰۰-۱۵۰
غیر همزیست:		
	باکتری (<i>Clostridium, Azobacter</i>)	۲۰-۵۰
	سیانوباکتری (مختلف)	۵۰-۱۰



شکل ۱۸-۱۳ میزان نیتروژن در ۵ چین برداشت چاودار چمنی^۴ که تنها و یا همراه با شبدر لادینو کشت شده است. در دو چین برداشت شده اول نیتروژن تثبیت شده به وسیله‌ی شبدر برای چاودار چمنی قابل استفاده بوده و میزان نیتروژن چاودار پایین می‌باشد. در برداشت‌های بعدی نیتروژن تثبیت شده به طور آشکار قابل استفاده بوده و به وسیله‌ی چاودار چمنی جذب شده بود. این احتمالاً شاید به خاطر معدنی شدن بافت‌های مرده ریشه شبدر لادینو باشد.

^۱-Pangola grass

^۲-Bahia grass

^۳-Azolla

^۴-Raygrass

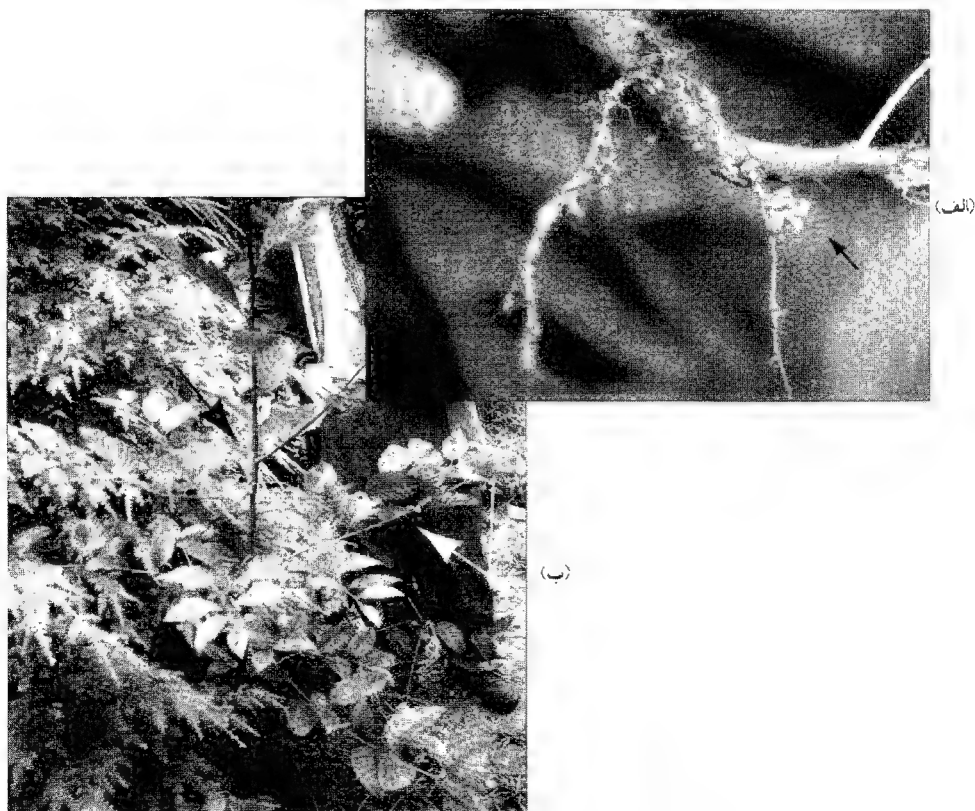
۱۲-۱۳ تثبیت همزیست با گیاهان غیرنیام‌دار

گیاهان غیرنیام‌دار تشکیل‌دهنده‌ی گره

حدود ۲۰۰ گونه از بیش‌تر از ۱۲ جنس غیرنیام‌دار که تشکیل گره داده و با تثبیت همزیستی نیتروژن سازگاری دارند، شناخته شده‌اند که چندین گروه مهم گیاهان نهان‌دانه را که در جدول ۹-۱۳ آمده‌اند شامل می‌شوند. هنگامی که ریشه‌های موین این گیاهان، که در بعضی اراضی جنگلی و اراضی مرطوب حضور دارند، به وسیله‌ی اکتینومیست‌های خاص از جنس *Frankia* آلوده می‌شوند گره‌های خاصی را تشکیل می‌دهند.

میزان تثبیت نیتروژن در هکتار به‌خوبی قابل‌مقایسه با ترکیب‌های نیام‌دار-ریزوبیوم می‌باشد (جدول ۸-۱۳). درمقیاس جهانی نیتروژن کل تثبیت شده بدین‌طریق حتی از نیتروژن تثبیت‌شده به‌وسیله‌ی نیام‌داران زراعی بیشتر است (جدول ۵-۱۳). به‌دلیل توانایی تثبیت نیتروژن بعضی از این ترکیبات درخت-اکتینومیست قادرند که در بعضی از خاک‌های غیرحاصلخیز و خاک‌های جدید تشکیل شده در مناطق به‌هم‌خورده، که دارای حاصلخیزی فوق‌العاده پایین و همچنین سایر شرایط محدودکننده رشد گیاه می‌باشند، استقرار یابند (شکل ۱۹-۱۳). وقتی گیاهان تثبیت‌کننده نیتروژن استقرار یافتند و شروع به افزایش نیتروژن از طریق لاشبرگ و یا ترشحات ریشه نمودند، اراضی برای استقرار سایر گونه‌ها مناسب می‌گردد. بنابراین فرائیک‌ها نقش مهمی در اقتصاد نیتروژن در مناطقی که در توالی استقرار گونه‌ها قرار دارند، و همچنین در جنگل‌های استقرار یافته و باتلاق‌ها ایفا می‌کند.

سیانوباکتری‌های خاص به‌خاطر ایجاد روابط همزیستی تثبیت نیتروژن با گیاهان سبز مشهور می‌باشند. یکی از آن‌ها شامل تشکیل گره در روی ساقه جنس *Gunnera* یک نهان‌دانه‌ی معمول در اراضی باتلاقی در نیمکره جنوبی می‌باشد. در این همکاری سیانوباکتری جنس *Nostoc* ۱۰ تا ۲۰ کیلوگرم در هکتار در سال نیتروژن تثبیت می‌کند (جدول ۱۸-۱۳).



شکل ۱۹-۱۳ اکتینومیست خاک، جنس *Frankia* می‌تواند سبب ایجاد گره در گونه‌های گیاهان چوبی خاص شده و موجب تشکیل تثبیت نیتروژن همزیست گردد که می‌تواند با همزیستی نیام‌دار-ریزوبیوم از نظر کارایی رقابت کند. درخت توسکای فرمز (ب) یکی از گونه‌های پیشگام درختی برای تجدید پوشش نقاط فرسایش‌یافته در مناطق پرباران شمال غرب مجاور اقیانوس کبیر در آمریکا می‌باشد. این درخت جوان توسکا به‌رغم فقر نیتروژن و شرایط فرسایش خاک، به‌دلیل این‌که وابسته به نیتروژن خاک برای نیازهای خود نمی‌باشد، دارای رشد خوبی است.

تثبیت زیستی نیتروژن بدون گره

در میان مهم‌ترین نظام‌های تثبیت نیتروژن بدون تشکیل گره، آن‌هایی هستند که شامل سیانوباکتری‌ها می‌باشند، یک نظام که دارای اهمیت عملی قابل‌ملاحظه‌ای می‌باشد عبارتست از ترکیب ازولا/آنابنا^۱ که در بعضی برنج‌زارهای گرمسیری و نیمه‌گرمسیر دارای شکوفایی می‌باشد. سیانوباکتری آنابنا در حفره‌های موجود در سرخس شناور ازولا مسکن گزیده و سبب تثبیت نیتروژن در مقادیری کاملاً قابل‌مقایسه با ترکیب‌های نیام‌دار-ریزوبیوم می‌باشد (جدول ۸-۱۳).

یک پدیده تثبیت نیتروژن با گسترش خیلی زیاد اما با شدت کم در بین ریزوسفر و علف‌های گندمی خاص و سایر گیاهان غیرنیام‌دار شایع می‌باشد. موجودات مسوول، باکتری‌ها به‌خصوص انواع مربوط به جنس‌های *Spirillum* و *Azotobacter* می‌باشد (جدول ۸-۱۳). ترشحات ریشه نبات انرژی لازم را برای فعالیتهای تثبیت این ریزجانداران تأمین می‌کند.

دانشمندان میزان‌های بسیار متفاوتی را از تثبیت نیتروژن را برای ریزوسفر گزارش کرده‌اند، بالاترین ارقام در ارتباط با علف‌های گندمی گرمسیری خاص مشاهده شده است. اگر مقادیر تثبیت حتی فقط ۵ تا ۳۰ کیلوگرم در هکتار در سال باشد، به‌نظر می‌رسد با توجه به اراضی علف‌های گندمی وسیع گرمسیری، مقدار کل تثبیت نیتروژن به‌وسیله‌ی موجودات ریزوسفر که بسیار بالا باشد (جدول ۵-۱۳).

جدول ۹-۱۳ تعداد و توزیع گیاهان عمده غیرنیام‌دار با گره‌بندی به‌وسیله‌ی اکتینومایست (درمقایسه حدود ۱۳۰۰۰ گونه‌های نیام‌دار وجود دارد)

جنس	خانواده	نسبت گونه‌های گره‌دار/ به کل گونه‌های موجود	توزیع جغرافیایی
<i>Alnus</i>	Betulaceae	31/35	مناطق خنک نیمکره شمالی
<i>Ceanothus</i>	Rhamnaceae	31/35	آمریکای شمالی
<i>Myrica</i>	Myricaceae	26/35	بسیاری از مناطق گرمسیر-نیمه‌گرمسیر و معتدل
<i>Casuarina</i>	Casuarinaceae	24/25	گرمسیر و نیمه‌گرمسیر
<i>Elaeagnus</i>	Elaeagnaceae	16/45	آسیا، اروپا و آمریکای شمالی
<i>Coriaria</i>	Coriariaceae	13/15	مدیترانه تا ژاپن، زلاندنو، شیلی و مکزیکو

۱۳-۱۳ تثبیت غیرهمزیست نیتروژن

ریزجاندارانی خاص به‌طور آزاد در خاک و آب زندگی کرده، قادرند که نیتروژن را تثبیت کنند. از آن‌جاکه این جانداران مستقیماً در ارتباط با گیاهان عالی نمی‌باشند، تغییر شکل نیتروژن تحت عنوان غیرهمزیست یا زندگی آزاد نامیده می‌شود.

تثبیت به‌وسیله‌ی ناخودپرورها

گروه‌های مختلفی از باکتری‌ها و سیانوباکتری‌ها قادر می‌باشند نیتروژن را به‌طور غیرهمزیست تثبیت کنند. در خاک‌های معدنی مناطق مرتفع تثبیت عمده به‌وسیله‌ی گونه‌های دو جنس از باکتری‌های هوازی ناخودپرور به نام ازوتوباکتر (در خاک‌های معتدل) و بجرینکیا^۲ (در خاک‌های مناطق گرمسیری) انجام می‌شود. باکتری‌های غیرهوازی خاص از جنس کلوستریدیوم^۳ نیز قادر می‌باشند نیتروژن را تثبیت کنند. از آن‌جاکه مناطقی با تأمین اکسیژن اندک حتی در خاک‌های دارای شخم‌آبی خوب^۴ موجود می‌باشد، باکتری‌های هوازی و غیرهوازی شانه‌به‌شانه‌ی هم در بسیاری از خاک‌های دارای زه‌کشی خوب انجام‌وظیفه می‌کنند.

مقدار نیتروژن تثبیت‌شده به‌وسیله‌ی این موجودات ناخودپرور در ارتباط با pH میزان نیتروژن خاک و منابع ماده‌ی آلی قابل‌استفاده متغیر می‌باشد. به‌دلیل تأمین انرژی اندک به‌نظر می‌رسد در تحت شرایط عادی زراعی میزان تثبیت نیتروژن به‌وسیله‌ی این موجودات که در فاصله ۵ تا ۲۰ کیلوگرم در هکتار در سال باشد (جدول ۸-۱۳) که فقط بخش کوچکی از نیتروژن موردنیاز گیاهان را تشکیل می‌دهد. هرچند در بعضی از بوم‌سامان‌ها این میزان نیتروژن کمک قابل‌توجه به تأمین نیازهای نیتروژن می‌کند.

^۱ - Azolla/Anabaena

^۲ - Beijerinckia

^۳ - Clostridium

^۴ - Good Tilth

تثبیت به وسیله خودپروورها

در میان خودپروورهای قادر به تثبیت نیتروژن باکتری‌های دارای سوخت‌وساز نوری و سیانوباکتری‌های خاص قرار دارند. این موجودات قادرند در حضور نور گاز کربنیک و نیتروژن را همزمان تثبیت کنند. میزان همکاری باکتری‌های سوخت‌وساز نوری نامشخص بوده، اما به نظر می‌رسد نقش سیانوباکتری‌ها، به‌خصوص در مناطق مرطوب و برنج‌زارها تا حدی اهمیت داشته باشد. در بعضی موارد مشخص شده است که این جلبک‌ها مقادیر کافی نیتروژن برای مزارع با تولید متوسط برنج تأمین کنند اما سطوح عادی بیش از ۲۰ تا ۳۰ کیلوگرم در هکتار در سال نمی‌باشد. تثبیت نیتروژن به وسیله سیانوباکتری‌ها در خاک‌های مناطق مرتفع نیز انجام می‌پذیرد، اما میزان آن بسیار کمتر از تثبیت آن در شرایط اراضی پست می‌باشد.

۱۴-۱۳ افزایش نیتروژن به خاک در ریزش‌های جوی

نیوار حاوی گاز آمونیاک و نترات حل‌شده در بخار آب و همچنین ترکیبات نیتروژنی آزادشده از خاک و گیاهان و همین‌طور از احتراق ذغال سنگ و محصولات نفتی می‌باشد. نترات‌ها همچنین در مقادیر کم در نتیجه تخلیه الکتریکی (برق) در نیوار تشکیل می‌شود. منبع دیگر دود اتومبیل‌ها و موتور کامیون‌ها می‌باشد که بخش قابل‌توجهی از نیتروژن را به‌صورت دود و گردوغبار شهری به نیوار، به‌ویژه در پایین‌دست باد در شهرهای بزرگ می‌فرستند. این ترکیبات نیتروژن نیوار از طریق باران، برف و گردوغبار به خاک برمی‌گردند. گرچه میزان افزایش در هکتار اندک است، مقدار کل نیتروژن اضافه شده سالانه قابل‌توجه است.

مقدار آمونیاک و نترات در بارندگی در ارتباط با موقعیت و فصل به‌طور مشخص متغیر می‌باشد. در مناطق گرمسیر مرطوب مقدار آن بیشتر از مناطق معتدل مرطوب و آنهم بزرگ‌تر از اقلیم معتدل نیمه‌خشک می‌باشد. افزایش نیتروژن ناشی از باران در نزدیکی شهرها، مناطق صنعتی و پروارندگی‌های بزرگ بیشترین مقدار می‌باشد (جدول ۱۰-۱۳). توجه خاصی به ریزش نترات و سایر اکسیدهای نیتروژن در این مناطق دارای غلظت بالا مبذول می‌شود، زیرا این نهشته‌ها با افزایش اسیدیته همراه می‌باشند. آثار زیان‌بار زیست‌محیطی باران اسیدی و تأثیر آن‌ها بر پوشش گیاهی (جنگل‌ها و زراعت‌ها) و آب‌های سطحی، مزایای تغذیه‌ای نترات‌های حاصل از باران را ناچیز خواهد کرد.

به‌طور شاخص در نزولات $\frac{1}{2}$ نیتروژن به‌صورت آمونیوم و $\frac{1}{3}$ آن به‌صورت نترات می‌باشد. دامنه‌ی تغییرات کل نیتروژن (نترات + آمونیوم) اضافه‌شده به وسیله ریزش ۱ تا ۲۵ کیلوگرم N (ازت خالص) در هکتار در سال می‌باشد. رقم ۵ تا ۸ کیلوگرم برای مناطق معتدل غیرصنعتی رقم شاخص است. دریافت سالانه این میزان نسبتاً محدود نیتروژن احتمالاً برای بوم‌سامان‌های طبیعی بیشتر از کشاورزی اهمیت دارد.

اثرات بر بوم‌سامان‌های جنگلی

در جنگل‌های بالغ جذب خالص نباتات و عدم تحرک میکروبی در چنان تعادل نزدیکی با آزادشدن نیتروژن در فرایند معدنی‌شدن است که بسیاری از این نظام‌ها دارای توانایی بسیار اندکی برای نگهداری نیتروژن عاید شده می‌باشد. نیتروژن حاصل از نیوار عمدتاً به‌صورت اسیدنیتریک (HNO_3) یا آمونیوم وارد جنگل می‌شود که طی نتراتی‌شدن میکروبی به اسیدنیتریک تبدیل می‌شود (بخش ۷-۱۳ را مشاهده کنید). در نتیجه به‌نظر می‌رسد جنگل‌های بالغ خاص اکثر نیتروژن حاصل از هوای آلوده به‌صورت نترات آبشویی و از دسترس خارج شود. H^+ حاصل از این اسیدها سبب جابه‌جایی کاتیون‌های بازی در کلویدهای خاک می‌گردد. کاتیون‌های جابه‌جاشده به‌خصوص کلسیم و منیزیم بر اثر آبشویی به‌داخل خاک با نترات (و سولفات بخش ۲۲-۱۳ را مشاهده کنید) از دست می‌روند. بنابراین، آبشویی آنیون‌های فعال (نترات‌ها و سولفات‌ها) سبب تشدید هدررفت کلسیم و منیزیم، عدم تعادل در تغذیه‌ی درختان و کاهش توان تولیدی جنگل می‌شود. ممکن است نیتروژن موجود در نزولات هنگام ریزش بر اراضی زراعی یک کود سودمند به‌شمار آید، اما هنگام اضافه‌شدن به خاک‌های رویشگاه درختان مانند یک آلاینده خطرناک می‌باشد. فصل ۹ باید برای تشریح هرچه بیشتر این واکنش‌ها و اختلافات خاک‌ها مورد مطالعه قرار گیرد.

اثرات بر بوم‌سامان‌های چراگاهی

بوم‌سامان چراگاه طبیعی شامل تنوع گسترده‌ای از گیاهان بومی برخوردارند که به‌خاطر توانایی خود در نگهداری نیتروژن مشهورند. حدود ۵ تا ۱۰ کیلو نیتروژن در هکتار سالانه از نیوار و تثبیت نیتروژن به این بوم‌سامان‌ها اضافه می‌شوند. گرچه این بوم‌سامان‌ها دارای توان تولید قابل‌توجهی می‌باشد، کوشش‌هایی برای افزایش توان تولید با اضافه‌کردن کود شیمیایی نیتروژنی، و معرفی گونه‌های غیربومی پاسخ‌ده نیتروژن خوب انجام شده است. ممکن است این فعالیت‌ها سبب افزایش عملکرد به‌طور موقت شود، اما تحقیقات نشان داده‌اند که طی زمان بسیاری از گونه‌های بومی کم‌نیاز به نیتروژن به وسیله گونه‌های خارجی دارای نیاز زیاد به نیتروژن و علف‌های هرز جانشین می‌شوند. نظام

حاصل دارای تنوع زیستی و توان تولید پایین‌تری نسبت به چراگاه‌های بومی اصلی می‌باشد. این نشان می‌دهد که تلاش‌هایی که با نیت خیر برای افزایش توان تولید در بوم‌سامان‌های طبیعی صورت می‌پذیرد، درواقع دارای نتایج عکس می‌باشد. دخالت انسان بی‌اطلاع از اصول حاکم بر توان تولیدی بوم‌سامان، ممکن است به نتایج غیرمطلوب بیانجامد.

جدول ۱۰-۱۳ مقادیر نیتروژن سالانه حاصل از بارندگی در قسمت‌های مختلف آمریکا

مناطق در ایالات متحده	دامنه‌ی تغییرات در ترسیب سالانه Kg/ha		کل نیتروژن Kg/ha
	نیتروژن نیتراتی	نیتروژن آمونیاکی	
مناطق روستایی ایالت اوهایو	۶/۶ - ۱۰/۶	۶/۲ - ۸/۲	۱۲/۸ - ۱۸/۸
مناطق صنعتی شمال شرق*	۴/۳ - ۷/۴	۸/۶ - ۱۴/۸	۱۲/۹ - ۲۲/۲
مرزهای مناطق صنعتی شمال شرق	۲/۸ - ۴/۱	۵/۶ - ۸/۲	۸/۴ - ۱۲/۳
مناطق وسیع طبیعی در غرب	۰/۴ - ۰/۶	۰/۸ - ۱/۲	۱/۲ - ۱/۸

۱۳-۱۵ واکنش کودهای شیمیایی نیتروژنی

مصرف جهانی کودهای شیمیایی حاوی نیتروژن در طول چند دهه‌ی گذشته به مقدار زیادی گسترش یافته است. اکثر کودهای تجاری، نیتروژن را در اشکال محلول مانند نیترات، آمونیوم و یا اوره (که به سرعت آبکافت‌شده و تولید آمونیوم می‌کند) عرضه می‌کنند. یون‌های آمونیوم و نیترات کودهای شیمیایی به‌وسیله‌ی گیاهان جذب و در چرخه نیتروژن، به همان طریق آمونیوم و نیترات حاصل از معدنی‌شدن ماده‌ی آلی قرار می‌گیرند. اختلاف عمده در این است که نیتروژن حاصل از مقادیر زیاد کود شیمیایی از نظر زمانی (تماماً در یک زمان مصرف می‌شوند) و مکانی (در نوارهای باریک و یا لایه‌های نازک مصرف می‌شوند) بسیار غلیظ‌تر از نیتروژن حاصل از سایر منابع می‌باشد در حالی که مصرف بخردانه این مقادیر کودی برای رشد گیاهی بسیار سودمند می‌باشد، ممکن است اثرات زیان‌بار شدیدی را نیز دربرداشته باشد. اول غلظت زیاد گاز آمونیاک در کودهای آزادکننده‌ی آمونیوم (مانند اوره و آمونیاک خشک) سبب محدودیت فعالیت بسیاری از جامعه گیاهی و جانوری خاک از جمله باکتری‌های تولیدکننده‌ی نیترات و کرم‌های خاکی، می‌شود این ضدهفونی کردن نسبی معمولاً موقتی و موضعی می‌باشد. این غلظت آمونیاک سبب اتلاف و فرار آن به نیوار به‌خصوص در خاک‌های قلیایی می‌شود. همچنین به‌خاطر آن‌که دو مول اسیدپت که برای هر مول نیتروژن آمونیومی در فرایند نیتراتی‌شدن تولید می‌گردد، استفاده از کودهای آمونیومی سبب افزایش اسیدپت خاک می‌شود (بخش ۷-۱۳ رامشاهده کنید). اسیدپت خاک همچنین با افزایش آمونیاک آزاد شده از مصرف شدید کود دامی حاصل می‌گردد.

غلظت در زمان وقتی رخ می‌دهد که عرضه‌ی نیتروژن محلول یک‌سال در یک نوبت مصرف کود انجام می‌شود، که روش کم‌هزینه و آسان و روش معمول در کشاورزی و جنگل‌داری است. بدبختانه فرایند هضم در چرخه‌ی نیتروژن (جذب نبات و عدم تحرک) ممکن است قادر نباشد که نیتروژن محلول کود شیمیایی را به‌سرعت کافی جذب کند تا از هدررفت عمده‌ی آن بر اثر آبشویی، رواناب سطحی، نیترات‌زدایی و فرار آمونیاک ممانعت کند. پیامد زیست‌محیطی این هدررفت قبلاً موردبحث قرار گرفته است. به‌عنوان یک قاعده‌ی کلی، کم مخاطره‌ترین روش از نظر زیست‌محیطی، مصرف کود شیمیایی در مقادیر کوچک و در چندین نوبت در تطابق با نیازهای کودی نبات می‌باشد.

۱۳-۱۶ مدیریت عملی نیتروژن خاک در کشاورزی

اهداف مدیریت نیتروژن از سه جنبه مورد توجه است. (۱) نگهداری عرضه‌ی کافی نیتروژن در خاک (۲) تنظیم اشکال محلول نیتروژن برای اطمینان از وجود مقادیر کافی برای برآورد تمام نیازهای نیتروژن گیاه برای رشد بهینه به‌طور آسان (۳) به‌حداقل رساندن خسارات زیست‌محیطی تراوش و نشست در نظام خاک و نبات.

برای درک مسأله مدیریت نیتروژن ملاحظه ورودی و خروجی نیتروژن در یک مزرعه و یا بوم‌سامان مفید می‌باشد. شکل ۲۰-۱۳ ورودی و خروجی نیتروژن را برای یک مزرعه فرضی خلاصه می‌کند. اکثر مسیرهای ورودی و خروجی در بوم‌سامان طبیعی معادل می‌باشند. چهره‌هایی که تعادل یک مزرعه را از یک بوم‌سامان طبیعی متفاوت می‌سازد عمدتاً عبارتند از: (۱) خارج کردن نیتروژن موجود در محصول برداشت شده که مصرف خروجی عمده می‌باشد.

* میزان نیتروژن آمونیومی دوبرابر نیتروژن نیتراتی محاسبه شده. این لیست تقریبی به‌دست آمده در اندازه‌گیری‌های مختلف ممکن است در محل خاص درست نباشد.

(۲) اضافه کردن کود شیمیایی که بیانگر ورودی عمده می باشد.

تابلو ۴-۱۳ منطقی نمودن میزان نهاده های نیتروژن در نظام های کشاورزی

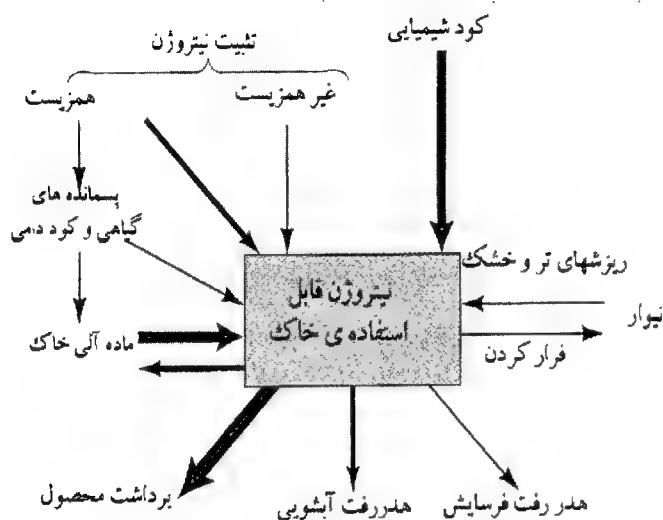
اهمیت نسبی و حجم مطلق مسیرهای مختلف چرخه نیتروژن در ارتباط با گیاه خاص کشت شده و اختلاف در اقلیم و مدیریت متفاوت می باشد. یک محصول خوب گندم و پنبه ممکن است فقط ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار برداشت کند که نصف این مقدار از طریق ساقه ها و یا کلس به خاک برگردد. برعکس در عملکرد خیلی زیاد، ممکن است ذرت سیلویی ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار برداشت کند. عملکرد خوب سالانه یونجه و یا علوفه حاصل از یک گیاه گندمی خوب کودخورده بیشتر از ۳۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار خارج کند. صرف نظر از محصول، هدف باید به حداقل رساندن ازدست رفت نیتروژن در تمام مسیرها به استثنای برداشت آن به وسیله محصول باشد (این در پایان همان چیزی است که زارع می فروشد و ما همگی آن را مصرف می کنیم). نیاز به مصرف کود شیمیایی تجاری وابسته به درجه ی توانایی زارع برای به کارگیری تثبیت همزیست نیتروژن، کود دامی، بازچرخ پس مانده های گیاهی و به حداقل رساندن هدررفت در نظام های زراعی می باشد.

اگر محصول زراعی و دامی در یک نظام زراعی ترکیب شوند، بیشتر نیتروژن برداشت شده به وسیله نبات می تواند از طریق کود دامی به خاک برگردد. کود شیمیایی باید به عنوان مکمل نیتروژن قابل استفاده از معدنی شدن ماده ی آلی، تثبیت زیستی، بارندگی، کود دامی و پس مانده های گیاهی در نظر گرفته شود. ازدست رفتن نیتروژن به وسیله آبیاری و نترات زدایی معمولاً فقط زمانی معضل می گردد که مصرف کود نیتروژنی از مقدار مورد نیاز برای پر کردن فاصله بین نیازهای جذب نبات و تأمین آن به وسیله سایر منابع فزونی یابد. وقتی ما تعادل نیتروژن را در اراضی زراعی در یک مقیاس ملی مورد بررسی قرار می دهیم، روشن است که میزان نیتروژن مصرف شده از میزان آنچه می توان به طور مناسب مورد استفاده قرار گیرد، بیشتر است (جدول ۱۱-۱۳). در ایالات متحده، اراضی زراعی سالانه حدود ۲۰/۹ میلیون تن نیتروژن دریافت می دارند در حالی که ۱۳/۵ میلیون تن نیتروژن به صورت برداشت محصول و پس مانده های گیاهی از زمین خارج می شود. به عبارت دیگر میزان نیتروژن ورودی بیش از ۵۰ درصد میزان خروجی مورد نظر است، که سبب باقی ماندن ۷ میلیون تن نیتروژن چه به صورت تجمع در خاک (در اکثر موارد چنین به نظر نمی رسد، فصل ۱۶-۱۳ را مشاهده کنید) و یا نشت به محیط از طریق آبیاری، فرسایش، رواناب، و یا ازدست رفت به نیوار از طریق گازهای نیتروژن می باشد. در حالی که بخشی از هدررفت ها در بوم سامان کشاورزی غیر قابل اجتناب است، این آگاهی در حال افزایش است که اراضی زراعی در ایالات متحده و سایر کشورهای صنعتی نیتروژن بیشتری از آن چه که نبات می تواند از آن به طور مؤثری استفاده کند، دریافت می دارند. این مقدار مصرف نیتروژن اضافی در صورت مهار آلودگی نیتروژن باید کاهش یابد.

جدول ۱۱-۱۳ ورودی و خروجی نیتروژن از تمام اراضی زراعی ایالات متحده در سال ۱۹۸۷ و ۱۹۷۷

فقط گروه های عمده، مورد نظر قرار گرفته اند، این مجموعه اطلاعات سراسر کشور بوده و نباید به عنوان معرف یک مزرعه خاص تلقی شود. برآورد برای هر دو سال جدا از همدیگر به عمل آمده است بنابراین تطابق نزدیک آنها بیانگر ارزش آنها می باشد.

میزان ورودی و خروجی نیتروژن		
سال ۱۹۸۷ (میلیون تن)	سال ۱۹۷۷ (میلیون تن)	
خروجی		
محصولات برداشت شده	۱۰/۶	۸/۹
پس مانده های گیاهی	۲/۸۹	۳/۰
کل خروجی	۱۳/۵۰	۱۱/۹
ورودی		
کود شیمیایی	۹/۳	۹/۵
تثبیت نیتروژن نیام داران	۶/۸۷	۷/۲
بازگشت پس مانده های گیاهی به خاک	۲/۸۹	۳/۰
کود دامی	۱/۸۳	۱/۴
کل نهاده	۲۰/۹	۲۱/۱
ورودی خروجی	۷/۴۲	۹/۲
تراز		



شکل ۲۰-۱۳- دست آوردها و ازدست رفت های عمده نیترژن خاک، عرض پیکان ها به طور تقریبی بیانگر ازدست رفت و یا دست آورده مربوطه است. باید تاکید داشت که نمودار بیانگر شرایط متوسط می باشد و باید تغییرات خیلی زیادی را در مقدار واقعی و نسبی نیترژن موجود انتظار داشت.

یک نوع خاک خاص ترکیب در هر اقلیم و نظام زراعی تمایل دارد که مقدار فرضی، تحت عنوان میزان معمول و یا میزان متعادل نیترژن را شامل باشد. در نتیجه تحت نظام های معمولی کشت و کار و کود دادن هر تلاشی که برای افزایش مداوم میزان نیترژن در سطحی بالاتر از این شاخص به عمل آید سبب ضایعات غیر ضروری نیترژن به صورت آبشویی و فرار شده و قبل از این که مورد استفاده قرار گیرد از دسترس خارج می شود. گرچه استثنای چندی در مورد قاعده کلی فوق وجود دارد. اگر خاکی که به طور طبیعی از نظر ماده ی آلی و نیترژن فقیر باشد و در طول مدت خاصی کود شیمیایی زیادی در آن مصرف شود و پس مانده های گیاهی نیز به خاک برگردانده شود، میزان نیترژن خاک احتمالاً افزایش خواهد یافت. این موقعیت برای خاک های مناطق خشک (Aridisols) که تحت آبیاری و کشت سبزی ها با مصرف کود زیاد و یا تناوب یونجه قرار گیرند معمول می باشد. اگر آبیاری اعمال نشود و عملکرد پایین بیاید خاک نهایتاً به سطح نیترژن قدیمی خود باز خواهد گشت. میزان تعادل نیترژن خاک تحت غلبه ی عملیات مدیریتی به کار رفته می باشد.

راهبردهای اساسی چندی در دستیابی به کاهش منطقی میزان مصرف نیترژن اضافی ضمن حفظ و یا بهبود میزان تولید و سودآوری کشاورزی (تابلو شماره ۴-۱۳ به انضمام جدول ۱۱-۱۳)، نتیجه بخش بوده که عبارتند از (۱) به حساب منظور نمودن میزان نیترژن از تمام منابع و کم کردن آن از میزان کود شیمیایی (۲) بالابردن بازدهی استفاده از کود دامی و کود شیمیایی (۳) اجتناب از دسترسی به عملکرد فراتر از مقدار بهینه که برای تحقق آن استفاده از کودهای شیمیایی برای تأمین نیاز محصول، به مراتب بیشتر از نیاز واقعی در اکثر سال ها می باشد (۴) بالابردن دانش چگونگی واکنش نبات، که عبارتست از تشخیص کمترین میزان نیترژن برای کسب سود بهینه. این تدبیر مدیریت عناصر غذایی در فصل ۱۶ بیشتر مورد بحث قرار خواهد گرفت.

۱۷-۱۳ اهمیت گوگرد

نقش انکارناپذیر گوگرد در بسیاری از واکنش ها در یاخته های زنده از قبل شناخته شده است. علاوه بر نقش حیاتی گوگرد در تغذیه نبات، گوگرد در آلودگی های مختلف هوا، آب و خاک دخیل بوده، و بنابراین همانند نیترژن از نظر مسایل زیست محیطی مورد توجه می باشد. مسایل زیست محیطی همراه گوگرد شامل باران های اسیدی، تخریب بعضی از جنگل های خاص، زه کشی معادن اسیدی، خاک های سولفات اسیدی و حتی بعضی اثرات منفی آب آشامیدنی مورد استفاده انسان و احشام می باشند.

نقش گوگرد در گیاهان و حیوانات

گوگرد جزئی از ترکیبات اسید آمینه های متیونین^۱، سیستین^۲، و سیستین^۳ بوده که کمبود آنها سبب فقر تغذیه شدید انسان ها می باشد. ویتامین های، بیوتین، تیامین و B1 و همین طور بسیاری از آنزیم های پروتئینی که فعالیت هایی مانند سوخت و ساز نوری و تثبیت نیترژن را تنظیم

^۱ -Methionine

^۲ - Cysteine

^۳ - Cystine

می‌کنند (نیتروژناز) حاوی گوگرد می‌باشند، اعتقاد بر این است که پیوند گوگرد با گوگرد محل‌های خاص را در روی رشته‌های طولانی اسیدهای آمینه را به همدیگر متصل ساخته و سبب می‌شوند اسیدهای آمینه دارای شکل سه‌بُعدی خاص شوند که برای عمل واکنش‌یاری آنها بسیار لازم است. گوگرد در فرایندهای ساختن پروتئین و آنزیم‌ها در ارتباط نزدیک با نیتروژن می‌باشد. گوگرد همچنین جزء اصلی روغن‌های معطر بوده که به گیاهان خانواده‌ی کلم و پیاز بو و طعم خاص می‌دهد قابل‌تعجب نیست که در میان گیاهان، خانواده‌ی نیام‌داران، کلم و پیاز اختصاصاً نیازمند مقادیر زیادی گوگرد می‌باشند.

کمبودهای گوگرد

برگ‌های سالم گیاهان معمولاً حاوی ۰/۱۵ تا ۰/۴۵ درصد گوگرد بوده و تقریباً ۱/۰ مقدار نیتروژن گوگرد دارند. گیاهان دارای کمبود نیتروژن مانند برگ‌ها و ساقه‌ها و دمبرگ‌های نازکی دارند، رشد آنها کند بوده و ممکن است رسیدن آنها به تأخیر یفتد. آنها همچنین دارای رنگ کلره سبز روشن و یا ظاهراً زرد می‌باشند. علایم کمبود گوگرد مشابه کمبود نیتروژن است (بخش ۱-۱۳ را مشاهده کنید). هرچند برخلاف نیتروژن گوگرد در گیاهان نسبتاً غیرفعال می‌باشد، بنابراین کلروز (زردی) ابتدا در برگ‌های جوان ظاهر می‌شود (در کمبود نیتروژن کلروز در برگ‌های پیرظاهر می‌شود). برگ‌های دارای کمبود گوگرد در بعضی گیاهان کلروز بین رگبرگی و یا نوارهای کم‌رنگ ایجاد می‌کند که از برگ‌های کمبود نیتروژن آنها را متمایز می‌سازد. همچنین، برخلاف گیاهان دارای کمبود نیتروژن، گیاهان دارای کمبود گوگرد تمایل دارند که قند کمتر اما نیترات بیشتری در عصاره‌ی خود داشته باشند.

کمبود نیتروژن در نتیجه سه روند مستقل در گیاهان زراعی طی چند دهه گذشته درحال افزایش است که عبارتند از:

(۱) اجبار در رعایت استانداردهای هوای تمیز سبب کاهش انتشار اکسیدگوگرد (SO_2) حاصل از سوختن ذغال‌سنگ و نفت فسیلی به نیوار گردیده است.

(۲) بازار کود به‌طور روبه‌افزایش تحت غلبه کودهای غلیظ‌تر قرار می‌گیرد. این کودها عناصر غذایی اصلی خود را با قیمت کمتر ارائه داده و دیگر شامل مقدار قابل‌توجه ناخالصی‌های دارای گوگرد نمی‌باشند. به‌طور مثال، سولفات آمونیوم و کودهای سوپرفسفات که زمانی مصرف آنها بسیار گسترده بود دارای ۲۴ و ۱۲ گوگرد بودند. آنها به‌وسیله‌ی دی‌آمونیم فسفات (DAP)، اوره، سوپرفسفات تریپل TSP و سایر مواد دارای نیتروژن و فسفر نسبتاً بالا اما گوگرد اندک و یا فاقد آن جایگزین شده‌اند.

(۳) همزمان با کاهش تأمین گوگرد در خاک‌ها و نباتات، ارقام اصلاح‌شده و مدیریت بهتر سبب بالارفتن عملکردها شده است و با افزایش عملکردها گوگرد بیشتری از خاک برداشت می‌شود، و بنابراین نیاز به گوگرد درست با کاهش عرض‌هی این عنصر افزایش یافته است.

محدوده‌های دارای کمبود: کمبودهای گوگرد در اکثر مناطق جهان گزارش شده است، اما در مناطقی غالب می‌باشد که ماده‌ی مادری خاک دارای گوگرد کم بوده، هوازدگی و آبشویی شدید سبب حذف آن گردیده، و یا در مناطقی است که جبران گوگرد به‌وسیله‌ی نیوار اندک می‌باشد. در مناطق گرمسیری یک یا دو شرط ذکرشده فوق وجود دارند.

سوزاندن زیتوده گیاهی سبب ازدست‌رفتن گوگرد به نیوار می‌شود. در بسیاری از بخش‌های جهان، پس‌مانده‌های گیاهی پوشش بومی به‌طور مرتب به‌عنوان روشی برای پاک‌کردن اراضی سوزانده می‌شوند. خاک‌های ساوانای آفریقا بر اثر سوزاندن سالانه پس‌مانده‌های گیاهی در طول فصل خشک دارای کمبود گوگرد می‌باشند. آتش، گوگرد موجود در پس‌مانده‌های گیاهی را معمولاً به گازهای گوگردی مانند SO_2 تبدیل می‌کند که با دود به‌وسیله‌ی باد صدها کیلومتر دورتر به مناطقی که از جنگل‌های بارانی پوشیده شده (خاک‌های اکسی‌سول) انتقال می‌یابد، مقداری از دی‌اکسیدگوگرد به‌وسیله‌ی خاک و برگ جذب شده و بخشی با پارتندگی فرود می‌آید. خاک‌های این مناطق اغلب دارای مقادیر قابل‌توجه گوگرد در نیم‌رخ خود می‌باشند. درحالی‌که در خاک‌های محل آتش‌سوزی (ساوانا) کمبود گوگرد مشاهده می‌شود (شکل ۲۱-۱۳ را مشاهده کنید).

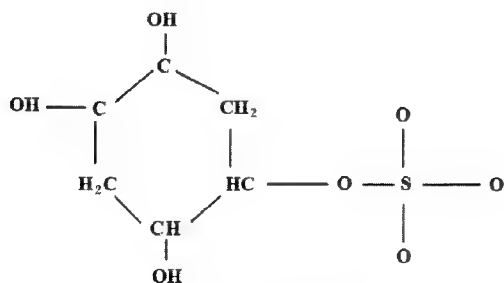
در ایالات متحده‌ی امریکا کمبود گوگرد، در جنوب شرقی، شمال غربی، کالیفرنیا و دشت‌های بزرگ بسیار معمول است. در شمال شرقی و دیگر مناطق دارای صنایع سنگین و شهرهای بزرگ کمبود گوگرد هنوز گسترش نیافته است.

۱۳-۱۸ منابع طبیعی گوگرد

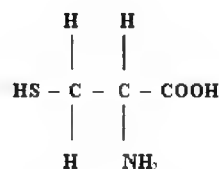
سه منبع عمده طبیعی گوگرد که می‌توانند برای جذب گیاهان قابل‌استفاده باشد عبارتند از: ۱- ماده‌ی آلی ۲- کانی‌های خاک ۳- گازهای موجود در نیوار. مجموع این سه منبع برای تأمین نیازهای گیاهان درحال‌رشد در بوم‌سامان‌های طبیعی که بیشتر گوگرد جذب‌شده به‌وسیله‌ی گیاهان نهایتاً به خاک برمی‌گردد کفایت می‌کند.

ماده‌ی آلی

۹۸ - ۹۰ درصد گوگرد در خاک‌های سطحی مناطق معتدل به صورت آلی می‌باشد (شکل ۲۱-۱۳) گرچه آن همانند نیتروژن اشکال واقعی گوگرد در ماده‌ی آلی ناشناخته است. بیشتر از نصف گوگرد دارای پیوند کربن (C-S)، عمدتاً در پروتئین‌ها، اسیدهای آمینه مانند سیستین، سیستین و متیونین می‌باشند این مواد در پیوند با بخش رس هموس بوده و از حمله میکروب‌ها محافظت می‌شوند. یک منبع نسبتاً انتقالی در گوگرد آلی در شکل سولفات استر (C-O-S) است که گوگرد به جای این که مستقیماً با کربن پیوند داشته باشد، با اکسیژن در پیوند است. مثال‌هایی از ترکیبات این دو بخش در زیر آمده است.



سولفات استر (گلوکز سولفات)



گوگرد در پیوند با کربن (سیستین)

با گذشت زمان ریزجانداران این ترکیبات گوگرد آلی را به صورت اشکال معدنی محلول، عمدتاً سولفات تجزیه می‌کنند. این معدنی شدن ترکیبات آلی برای آزاد شدن سولفات مشابه معدنی شدن ترکیبات آلی برای آزاد شدن آمونیوم و نترات می‌باشد که در بخش ۴-۱۳ بیان گردید. جدول ۱۲-۱۳ میزان گوگرد بالای خاک‌ها را در سه منطقه جنگلی نشان داده و نسبت ترکیبات آلی و معدنی موجود در هریک را مشخص می‌کند، به درصد بالای گوگرد در پیوند با کربن و درصد نسبتاً کمتر گوگرد سولفاتی توجه کنید.

در مناطق خشک و نیمه خشک، ماده‌ی آلی در خاک‌های سطحی اندک است هر چند گچ ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)، که سولفور معدنی را عرضه می‌کند در خاک‌های زیرین وجود دارند. بنابراین به نظر نمی‌رسد نسبت سولفور آلی در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک به فراوانی مناطق مرطوب باشد. این مسأله به خصوص در خاک زیری که کربن آلی فقط بخش کوچکی از گوگرد موجود بوده و یا جایی که گچ فراوان است، صادق می‌باشد.

جدول ۱۲-۱۳ غلظت ترکیبات گوگردی در اسپدوسول‌های جنگلی در مناطق مختلف، توجه کنید که لایه Oa افق آلی دارای میزان S بالاتری بوده و در شکل آلی گوگرد (باند C-S و استرسولفات) ۸۴ تا ۹۰ درصد سولفور خاک را شامل می‌باشد.

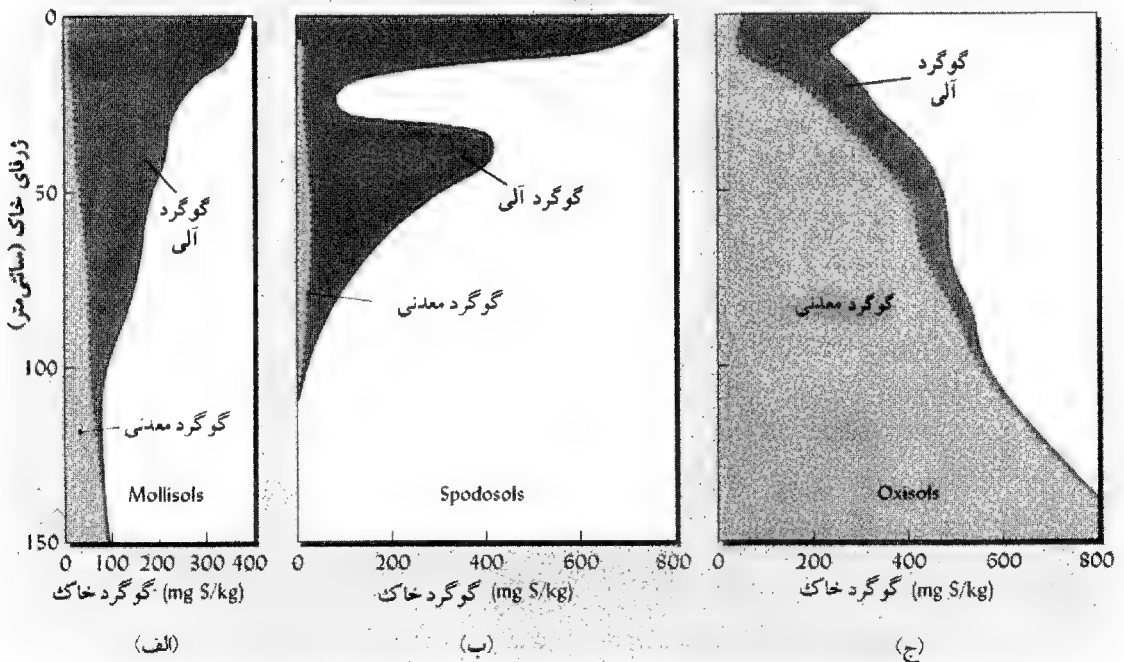
افق ^۷	گوگرد کل (میکروگرم در گرم)	نسبت گوگرد در خاک (%)			
		گوگرد معدنی	گوگرد سولفاتی	استرسولفات	
جنگل هوبارد پروک، نیوهمشایر					
Oa	۱۵۳۶	۷۱	۲۸	۰/۳	-
Bh	۳۰۳	۷۲	۲۲	۳	-
Bs1	۲۵۲	۶۴	۲۶	۸/۱	-
جنگل هانتینگتون نیویورک					
Oa	۱۷۸۰	۷۷	۲۲	۰/۲	۰/۷
Bh	۷۶۱	۸۳	۱۳	۳/۱	۲/۲
Bs1	۵۲۷	۷۰	۲۲	۴/۲	۴/۴
منطقه سوزنی برگ					
Oa	۲۰۰۳	۸۸	۱۱	۰/۳	۰/۶
Bh	۵۴۰	۸۳	۱۱	۲/۴	۳/۴
Bs1	۵۱۵	۵۷	۲۷	۱۳	۳

کانی‌های خاک

اشکال معدنی به فراوانی اشکال آلی نمی‌باشد، اما آن‌ها شامل ترکیبات محلول و قابل استفاده بوده که گیاهان و میکروب‌ها به آن وابسته هستند. گوگرد در اشکال معدنی متعددی در خاک وجود دارد که کانی‌های سولفات و سولفید معمول‌ترین آن‌ها می‌باشند. کانی سولفات به آسانی محلول است. این سولفات به وسیله گیاهان جذب می‌شود. کانی سولفات در مناطق با بارندگی اندک معمول‌ترین کانی است که در افق‌های پایین بعضی مولی‌سول‌ها و اریدی‌سول‌ها تجمع می‌یابد (شکل ۲۱-۱۳). ممکن است آن‌ها به صورت نمک‌های خشی در افق‌های سطحی خاک‌های شور در مناطق خشک و نیمه‌خشک تجمع یابند.

سولفیدها در خاک‌های بعضی از مناطق مرطوب با زه‌کشی محدود وجود دارند که باید قبل از جذب به صورت سولفات اکسیده شوند. در صورت زه‌کشی آنها، اکسایش انجام گرفته و سولفور قابل استفاده زیادی آزاد می‌شود. در بعضی موارد چنان اکسایش زیاد است که می‌تواند اسیدیت خلی شدید ایجاد کند (بخش ۲۱-۱۳ را مطالعه کنید).

منبع معدنی دیگر گوگرد عبارتست از بخش رسی بعضی از خاک‌ها دارای اکسیدهای فراوان Fe، Al و کائولینیت این رس‌ها قادرند سولفات را از محلول خاک جذب کرده سپس آن‌را به وسیله تبادل آنیونی به خصوص در pH پایین آزاد سازند. اکسی‌سول‌ها و دیگر خاک‌ها با هوادگی شدید مناطق گرمسیر و شبه‌گرمسیر ممکن است دارای ذخایر بزرگ سولفات، به خصوص در افق‌های تحت‌الارضی خود باشند (شکل ۲۱-۱۳). مقادیر زیاد سولفات ممکن است در پیوند با اکسیدهای فلزی در افق اسپدیک در زیر جنگل‌های معتدل قرار گیرند.



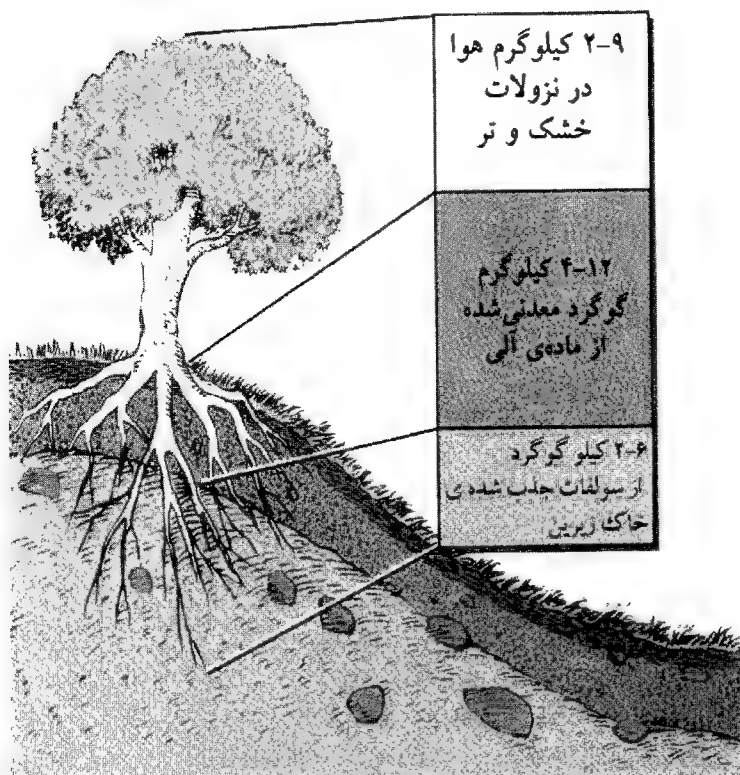
شکل ۲۱-۱۳ توزیع گوگرد آلی و معدنی در خاک‌های معرف از رده‌های مولی‌سول، اسپدوسول و اکسی‌سول. در هر خاک اشکال آلی در افق‌های سطحی غالب می‌باشد. در افق‌های پایین خاک مولی‌سول مقادیر قابل توجهی گوگرد معدنی به صورت سولفات جذب شده و یا کانی سولفات کلسیم وجود دارد. مقادیر نسبتاً کمی نیز گوگرد معدنی در خاک‌های اسپدوسول وجود دارند. هرچند، قسمت اعظم گوگرد خاک‌ها در مناطق حاره‌ای (اکسی‌سول‌ها) به صورت سولفات جذب شده در سطوح کلویدی بخش زیرین خاک می‌باشد.

گوگرد نیوار

نیوار دارای مقادیر متفاوتی از کربونیل سولفید (COS) هیدروژن سولفید H_2S ، سولفور دی‌اکسید SO_2 و سایر گازهای گوگرد، و همچنین ذرات گردوغبار گوگرددار می‌باشد، این اشکال نیواری از فوران‌های آتشفشان‌های بیرونی، بخارشدن گوگرد از خاک، آتشفشان‌های اقیانوسی، آتش‌زدن زیتوده و نیروگاه‌های صنعتی (مانند نیروگاه تولید برق که به وسیله ذغال‌سنگ غنی از گوگرد کار می‌کند و کارخانه‌های ذوب فلز) حاصل می‌شود در دهه‌های اخیر نقش منابع صنعتی در مناطق خاص غالب می‌باشد.

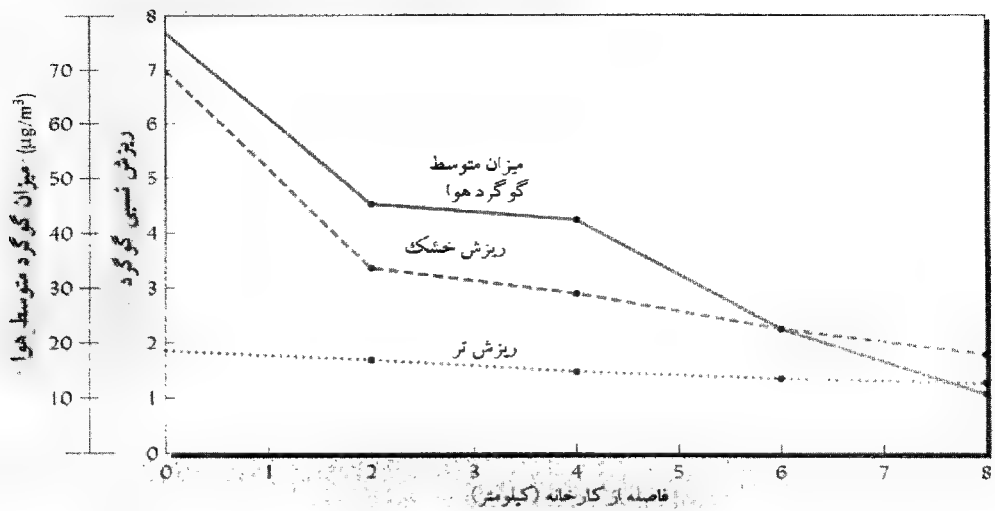
بعضی از مواد در نیوار به سولفات اکسیده می‌شوند و تشکیل H_2SO_4 و نمک‌های سولفات $CaSO_4$ و $MgSO_4$ می‌دهند. وقتی این مواد جامد و گازها به‌صورت گازها و ذرات خشک به زمین باز می‌گردند، نهشته‌های خشک و درصورت نزول بارندگی نهشته‌های تر نامیده می‌شوند. گرچه نسبت این دو نوع نهشته محل به محل فرق می‌کند هریک حدود ۵۰٪ درصد کل گوگرد نزول یافته را تشکیل می‌دهد. در مناطق صنعتی ایالت‌های شمال شرقی دارای بیشترین ریزش گوگرد در آمریکا معمولاً در دامنه‌ی ۳۰ تا ۷۵ کیلوگرم درهکتار درسال بوده و درنقاط دورتر از مناطق صنعتی به ۸ تا ۱۵ کیلوگرم و در مناطق خیلی دوردست در غرب آمریکا به ۵-۲ کیلوگرم و در روستاهای آمریکا به ۴-۱ کیلوگرم درهکتار درسال کاهش می‌یابد، بنابراین اثر نزولات نیواری گوگرد تا حد زیادی به موقعیت بستگی دارد. اثرات عمده انتشار صنعتی در فاصله نزدیک منبع انتشار صورت می‌گیرد (شکل ۲۳-۱۳) از طرف دیگر شیوه‌های منطقه‌ای کیفیت هوا و ریزش گوگرد آشکار است. چون اثرات خفیف انتشار فسیلی صدها کیلومتر در پایین دست جهت وزش باد مشخص می‌باشد (شکل ۲۴-۱۳).

گوگرد نیواری از ۳ طریق به بخشی از نظام خاک و گیاه تبدیل می‌شود (۱) مواد گوگردی ریزشی تر که از نظر اسیدسولفوریک غنی است به‌وسیله‌ی خاک جذب می‌شوند (۲) بعضی از این ریزش‌های تر از طریق شاخ و برگ جذب می‌شوند (۳) بخشی از ریزش خشک مستقیماً به‌وسیله‌ی خاک‌ها، درحالی‌که بخش دیگر به‌وسیله‌ی نبات جذب می‌شوند. ۳۵-۲۵٪ گوگرد گیاه حتی اگر سولفات خاک نیز کافی باشد از این راه‌ها، جذب می‌شود. در خاک‌های دارای کمبود گوگرد نصف نیاز از نیوار تأمین می‌شود (شکل ۲۲-۱۳).

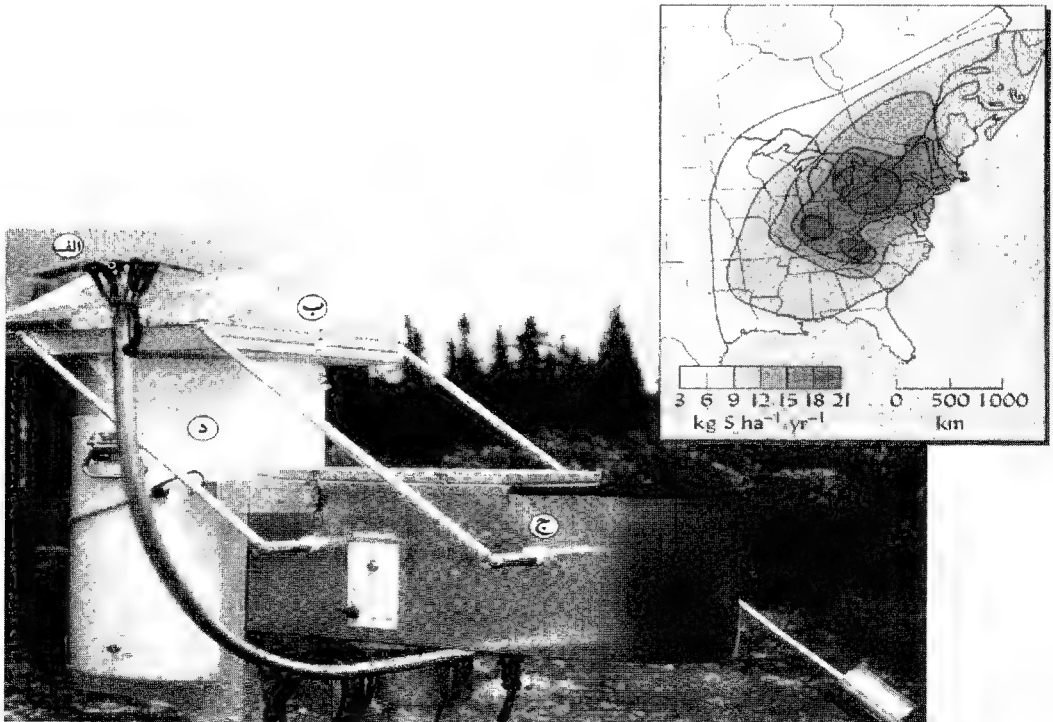


شکل ۲۲-۱۳ نبات، گوگرد را از سه منبع دریافت می‌دارد. گوگرد موجود در گازها و غبار نیوار، سولفات معدنی شده از ماده‌ی آلی خاک، و سولفات جذب شده از کانی‌های خاک. دامنه‌ی شاخص جذب گوگرد از این منابع نشان داده شده است. وقتی این سه منبع برای رشد بهینه نبات کافی نباشد، مصرف کودهای شیمیایی گوگرد باید انجام گیرد. در مناطق در مسیر وزش باد از نیروگاه‌های سوخت ذغال و کارخانه‌های ذوب فلز ممکن است میزان و آلودگی نیواری از آنچه در این‌جا نشان داده شده است به مراتب بزرگ‌تر باشد.

توجه زیست‌محیطی به مقدار زیاد گوگرد نیوار و باران‌های اسیدی حاصل دارای اهمیت عملی زیادی در جنگلداری و کشاورزی می‌باشد. باید تلاش‌های کاهش گوگرد نیوار در مناطق نزدیک نیروگاه‌های صنعتی، که میزان اشکال نیواری گوگرد ممکن است چنان زیاد باشد که سبب ایجاد مسمومیت در درختان و نباتات (بدون درنظرگرفتن مشکلات تنفسی مردم) کند مورد تقدیر قرار گیرد. جدا از تاثیرات شدید و آنی منابع صنعتی در مناطق نزدیک آن، بالارفتن میزان گوگرد نیوار و باران‌های اسیدی صدمات شدیدی به انواع خاص بوم‌سامان جنگلی وارد کرده است. از طرف دیگر کاهش مرتب گوگرد نیوار سبب بروز کمبودهای این عنصر در سایر مناطق، به‌خصوص در نباتات زراعی پرمحصول گردیده است. دراین مورد بخشی از نیازهای گوگرد نبات می‌تواند با اضافه‌کردن گوگرد از کودهای شیمیایی مرتفع گردد، و بنابراین سبب بالارفتن هزینه تولید محصولات زراعی می‌گردد.



شکل ۲۳-۱۳ تأسیسات صنعتی مانند نیروگاه‌هایی سوخت زغال‌سنگ و یا نفت خام و همچنین کارخانه‌های ذوب فلز می‌توانند مقدار زیادی گوگرد به خاک‌های نزدیک خود وارد کنند به کاهش سریع ته‌نشینی گوگرد در ارتباط با افزایش فاصله اراضی از منبع انتشار گوگرد توجه کنید ریزش گوگرد نیواری در نزدیک منبع انتشار بیشتر است اما در فواصل طولانی نهشته‌ی خشک و نهشته‌ی تر مساوی هستند. مقررات زیست‌محیطی در بسیاری از کشورها امروزه سبب گشته است که این نیروگاه‌ها انتشار گوگرد خود را به مقدار زیادی کاهش دهند.



شکل ۲۴-۱۳ وسیله‌ای که در عکس نشان داده شده است هم ریزش خشک و هم ریزش تر گوگرد را جمع‌آوری می‌کند یک حسگر (سنسور) (الف) اهرم سقف کوچک را می‌کشد تا سقف محفظه جمع‌آوری نهشته‌ی خشک (ج) با اولین بارندگی پوشیده شود و محفظه جمع‌آوری نهشته‌ی تر (د) در معرض بارندگی قرار گیرد. وقتی بارندگی متوقف می‌شود، حسگر اهرم را می‌کشد تا سقف به عقب برگشته و روی محفظه رسوب تر را پوشانده تا رسوب خشک بتواند جمع‌آوری گردد. نقشه توزیع جغرافیایی ریزش گوگرد را از نیوار در آمریکای شرقی نشان می‌دهد. داده‌ها براساس اندازه‌گیری گوگرد در نهشته‌ی تر بوده و با فرض این که نهشته‌ی خشک و تر مساوی هستند ترسیم شده است.

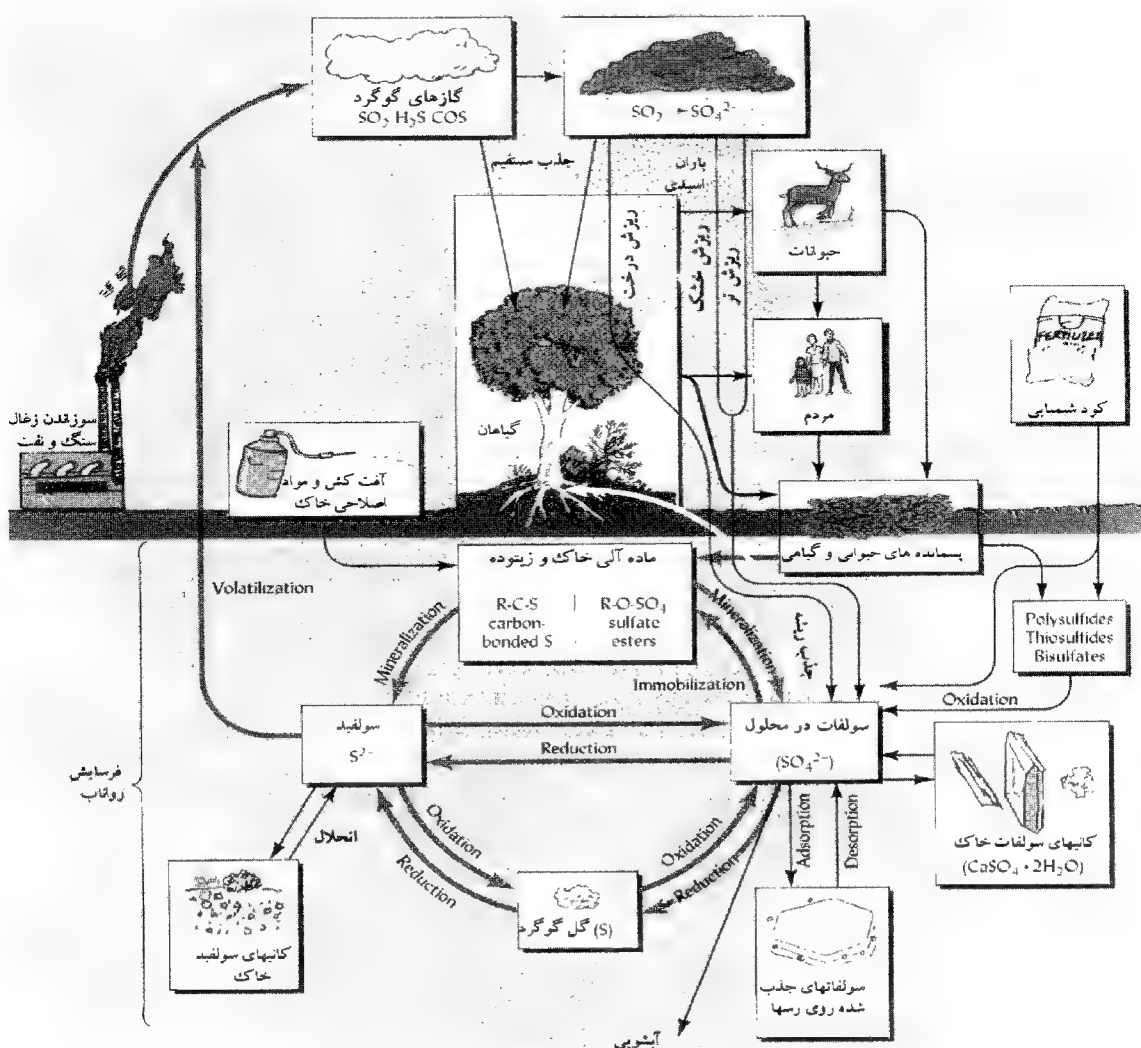
۱۳-۱۹ چرخه‌ی گوگرد

تغییر شکلهای عمده‌ای که گوگرد در خاک‌ها به‌خود می‌گیرد در شکل ۲۵-۱۳ آمده است. دایره‌ی داخلی رابطه بین چهار شکل عمده این عنصر (سولفید- سولفات، گوگرد آلی و گوگرد عنصری) را نشان می‌دهد. بخش‌های خارجی مهم‌ترین منابع گوگرد، و چگونگی ازدست‌رفتن این عنصر را در نظام نشان می‌دهد.

این چرخه مشابهت قابل‌ملاحظه‌ای با چرخه نیتروژن دارد (شکل‌های ۲۵-۱۳ و ۳-۱۳ را باهم مقایسه کنید). در هر دو مورد نیوار یک منبع مهم عناصر موردنظر می‌باشد؛ هردو عنصر به‌مقدار زیادی در ماده‌ی آلی وجود دارند؛ هر دو در معرض اکسایش و احیای میکروبی قرار می‌گیرند؛ هردو می‌توانند به‌صورت گازی وارد خاک شده و از آن خارج گردند، و هردو تا حدی در معرض آبشویی در شکل آنیونی می‌باشند. فعالیت‌های میکروبی مسوول بسیاری از تغییر شکل‌ها که سرنوشت نیتروژن و گوگرد را رقم می‌زنند.

شکل ۲۵-۱۳ باید به‌طور مرتب همراه با بررسی‌های تفصیلی گوگرد در نباتات و خاک که در صفحات آینده خواهد آمد، موردمرور قرار

گیرد.

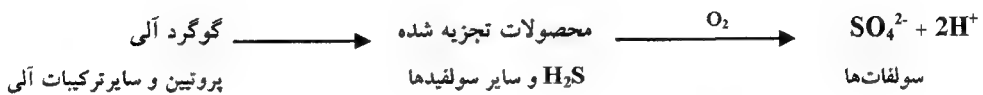


شکل ۲۵-۱۳ چرخه‌ی گوگرد که بعضی از تغییر شکل‌های صورت گرفته را وقتی این عنصر در چرخه نظام خاک، نبات، حیوان، و نیوار قرار می‌گیرد نشان می‌دهد. در افق‌های سطحی تمام خاک‌ها به‌استثنای تعداد اندکی در مناطق خشک، حجم بزرگ گوگرد در شکل آلی می‌باشد، هرچند در افق‌های عمیق‌تر و یا در خاک‌های حفاری‌شده ممکن است اشکال مختلف معدنی غالب باشد. واکنش‌های اکسایش-احیایی که گوگرد را از یک شکل به شکل دیگر تبدیل می‌کند. عمدتاً با وساطت ریزجانداران انجام می‌شود.

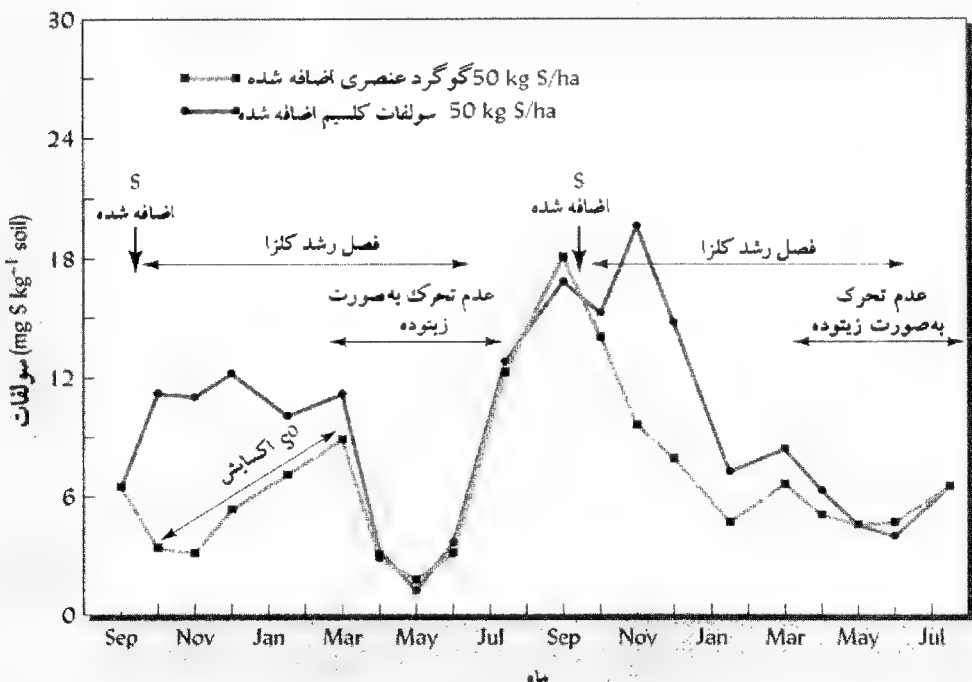
۲۰-۱۳ رفتار ترکیبات گوگردی در خاک‌ها

معدنی شدن

گوگرد از نظر جذب به‌وسیله گیاه و ریزجانداران و حرکت در چرخه، بسیار شبیه نیتروژن رفتار می‌کند. اشکال آلی گوگرد باید به‌وسیله ریزجانداران معدنی شود تا گوگرد بتواند جذب گیاه گردد. سرعت و میزان انجام این فرایند در گرو همان عوامل محیطی مؤثر در معدنی شدن نیتروژن از جمله رطوبت، تهویه، دما و اسیدیته می‌باشد. وقتی شرایط برای فعالیت عمومی میکروبی مناسب است، معدنی شدن گوگرد صورت می‌پذیرد. بعضی از ترکیبات آلی گوگرد خاک که دارای سهولت تجزیه‌اند، استرسولفات‌ها می‌باشند که ریزجانداران یون سولفات را مستقیماً از آن‌ها آزاد می‌سازند، هرچند در بیشتر مواد آلی خاک، گوگرد در حالت احیاء و در پیوند با اتم‌های کربن پروتیین‌ها و اسیدهای آمینه می‌باشد. در حالت آخر واکنش معدنی شدن ممکن است به‌صورت زیر نشان داده شود:



از آن‌جاکه آزاد شدن سولفات قابل استفاده، وابسته به فرایندهای میکروبی است، عرضی سولفات قابل استفاده با تغییر فصل و گاهی با تغییرات روزانه و شرایط محیطی در نوسان است (شکل ۲۶-۱۳). و این امر اندازه‌گیری و برآورد گوگرد قابل استفاده را همانند نیتروژن مشکل می‌سازد.



شکل ۲۶-۱۳ تغییرات فصلی شکل سولفات از گوگرد موجود در افق سطحی یک خاک (Argixerolls) که در ایالت اورگن برای کشت کلزای روغنی به‌کار می‌رود. این نبات در پاییز کاشته می‌شود و در طول زمستان به آهستگی رشد می‌کند، و سپس در ماه‌های سرد بهار به شدت رشد می‌کند. داده‌ها مربوط به کرت‌هایی است که گوگرد عنصری و یا سولفات کلسیم دریافت داشته‌اند. پیکان‌های عمودی تاریخ‌هایی را نشان می‌دهد که این اصلاح‌کننده‌ها مصرف شده‌اند. توجه داشته باشید که غلظت سولفات در خاک‌هایی که سولفات کلسیم دریافت داشته‌اند در چند ماه اول بعد از مصرف بالا بوده است. درحالی‌که گوگرد عنصری به آرامی بر اثر اکسایش میکروبی به سولفات تبدیل گشته است کاهش آشکار در غلظت گوگرد با گرم شدن خاک در اثر عدم تحرک سولفات در زیتوده میکروبی و جذب آن به‌وسیله کلزا ایجاد شده است. در آخر تابستان و اول بهار وقتی جذب سولفات به‌وسیله نبات کاهش یافته و معدنی شدن میکروبی به سرعت انجام شده است، غلظت سولفات به بالاترین مقدار رسیده است. حرکت سولفات حل شده از لایه‌های زیرین به لایه‌های سطحی بالای خاک ممکن است در طول هوای گرم خشک صورت گرفته باشد.

عدم تحرک گوگرد

آلی شدن یا عدم تحرک اشکال معدنی گوگرد وقتی صورت می‌گیرد که مواد آلی انرژی‌زای دارای گوگرد کم به خاک اضافه می‌گردد. سازوکار به‌نظر می‌رسد همانند عدم تحرک نیتروژن است. مواد دارای انرژی زیاد سبب تقویت رشد میکروبی و تبدیل سولفات معدنی به اندام‌های میکروبی می‌شود. نسبت C/S بیشتر از ۴۰۰ معمولاً سبب عدم تحرک گوگرد می‌شود. وقتی فعالیت میکروبی فروکش می‌کند سولفات معدنی در خاک آشکار می‌شود. شیوه عدم تحرک گوگرد در خاک‌ها همانند نیتروژن بوده و مطرح می‌کند که گوگرد شبیه نیتروژن در ماده‌ی آلی خاک ممکن است با کربن آلی به یک نسبت معقول همراه باشد. نسبت بین کربن نیتروژن و گوگرد برای تعدادی از خاک‌ها در سه قاره مختلف در جدول ۱۳-۱۳ ارائه شده است نسبت $C/N/S$ $100/1$ یک شاخص معمول می‌باشد.

در طول تجزیه مواد آلی خاک چندین گاز حاوی گوگرد مانند هیدروژن سولفید (H_2S)، کربن دی سولفید (CS_2) کریبونیل سولفید (COS) و متیل مرکاپتال (CH_3SH) تشکیل می شوند که همگی در شرایط غیرهوازی به وجود می آیند. هیدروژن سولفید معمولاً در خاک های ماندابی بر اثر احیا سولفات به وسیله ی باکتری های غیرهوازی به دست می آید. بقیه از تجزیه میکروبی اسیدهای آمینه حاوی نیتروژن به دست می آید. اگر چه این گازها می توانند به وسیله ی کلوید خاک جذب شوند، بعضی وارد نوار شده که بعد از تغییرات شیمیایی به خاک باز می گردند.

جدول ۱۳-۱۳ میانگین نسبت $C/N/S$ در دسته‌ای از خاک‌ها

محل	تشریح و تعداد نمونه‌ها	نسبت $C/N/S$	محل	تشریح و تعداد نمونه‌ها	نسبت $C/N/S$
اسکاتلند شمالی	کشاوری - خاک‌های غیر آهکی (۴۰)	۱۰۴/۷/۱	اورگن	خاک‌ها متفاوت کشاورزی (۱۶)	۱۲۳/۱۰/۱
مینه‌سوتا امریکا	مولی سول (۶)	۷۴/۷/۱	استرالیای شرقی	خاک‌های اسیدی (۱۲۸)	۱۲۶/۸/۱
مینه‌سوتا امریکا	اسپدوسول (۲۴)	۱۰۸/۸/۱	استرالیای شرقی	خاک‌های قلیایی (۲۷)	۹۲/۷/۱
			سوئد	آنسپتی سول	۶۹/۷/۱

۲۱-۱۳ اکسایش و احیای گوگرد

فرایند اکسایش گوگرد

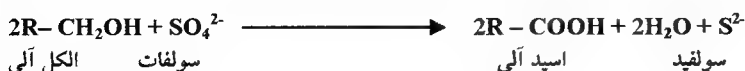
در طول تجزیه‌ی میکروبی ترکیبات کربن آلی در پیوند با گوگرد، سولفیدها همراه با سایر مواد اکسیدشده کامل مانند گوگرد عنصری (S^0)، تیوسولفات‌ها ($S_2O_3^{2-}$)، پلی‌تیونات ($S_{2x}O_{3x}^{2-}$) تولید می‌شوند. این مواد احیا شده در معرض اکسایش قرار می‌گیرند، درست مانند ترکیبات آمونیم که بعد از تجزیه‌ی مواد آلی نیتروژن‌دار به‌دست می‌آید. واکنش‌های اکسایش برای سولفید هیدروژن و گوگرد عنصری ممکن است به‌صورت زیر تشریح شود:



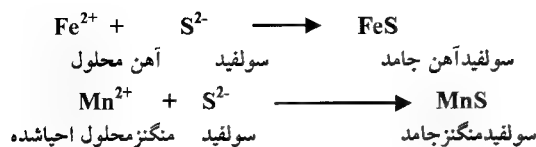
اکسایش بعضی از ترکیبات گوگردی از جمله سولفیت‌ها (SO_3^{2-}) و سولفید (S^{2-}) یک اکسایش محض شیمیایی بوده در حالی که اکثراً اکسایش گوگرد سرشت زیست‌شیمی دارد که به‌وسیله ی چندین باکتری خودپرور از جمله ۵ گونه جنس تیوباسیلیوس انجام می‌شود. از آنجا که نیازهای محیطی و مقاومت این ۵ گونه بسیار متفاوت می‌باشد، فرایند اکسایش گوگرد در دامنه‌ی وسیعی از شرایط خاک انجام می‌شود. برای مثال اکسایش ممکن است در pH متغیر در فاصله کمتر از ۲ تا بیشتر از ۹ انجام می‌گیرد، این برخلاف اکسایش نیتروژن است که در فاصله کمتری متغیر می‌باشد.

فرایند احیاء گوگرد

یون‌های سولفات همانند یون‌های نیترات در شرایط غیرهوازی ناپایدار بوده و به وسیله تعدادی از باکتری‌ها از دو جنس *Desulfovibrio* (گونه ۵) و *Desulfotomaculum* (سه گونه) به یون سولفید تبدیل می‌شوند. این میکروب‌ها اکسیژن موجود در سولفات را برای اکسایش مواد آلی به کار می‌برند. واکنش شاخص که بیانگر احیای گوگرد همراه با اکسایش ماده‌ی آلی باشد به شکل زیر است:



در خاک‌ها با زه‌کشی ناقص، یون سولفید بلافاصله با آهن و منگنز که در شرایط غیرهوازی در شکل احیاء وجود دارند، وارد واکنش می‌شود. پیوند با آهن احیاء شده و تشکیل سولفید آهن از سمیت آهن در برنج‌زار و باتلاق‌ها ممانعت می‌کند. این واکنش ممکن است به صورت زیر بیان شود:



یون سولفید همچنین بر اثر آب‌کافت هیدروژن سولفید، گازی تشکیل می‌دهد که دارای بوی تخم‌مرغ گندیده در مناطق باتلاقی و مردابی می‌باشد. احیاء گوگرد در سایر یون‌های حاوی گوگرد به غیر از سولفات، ممکن است انجام گیرد. برای نمونه سولفیت‌ها (SO_3^{2-})، تیوسولفات ($\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$) و گوگرد عنصری (S^0) به آسانی به وسیله باکتری‌ها و سایر موجودات به سولفید تبدیل می‌شوند.

اکسایش و احیاء ترکیبات گوگرد معدنی نقش مهمی در تعیین مقدار سولفات‌های (شکل غذایی قابل استفاده ی ثابت) موجود در خاک در هر زمان دارد. همچنین حالت اکسایش گوگرد، عامل مهمی در اسیدیته ی خاک و زه‌کشی آب خاک می‌باشد.

اکسایش گوگرد و اسیدیته

واکنش‌های اکسایش گوگرد عنصری (S) و هیدروژن سولفید (H_2S) نشان می‌دهد که همانند اکسایش نیتروژن، اکسایش گوگرد یک فرایند اسیدی‌شدن است. برای هر اتم گوگرد که اکسیده می‌شود، دو یون هیدروژن تشکیل می‌گردد. به خاطر همین واکنش اسیدی‌شدن، گوگرد می‌تواند برای کاهش pH در خاک‌های شدیداً قلیایی و سدیمی مناطق خشک به مقداری که برای رشد نبات و مهار بیماری مطلوب‌تر است، مصرف گردد (بخش ۹-۱۰). اسیدیته ایجاد شده بر اثر اکسیده شدن گوگرد هنگام انتخاب کود باید مورد توجه باشد، زیرا بعضی از مواد دارای گوگرد عنصری بوده و ممکن است pH خاک را به طور غیرمطلوب پایین آورند.

اضافه شدن گوگرد نیوار به خاک‌ها از طریق بارندگی سبب افزایش اسیدیته می‌شود.^۱ ممکن است اسیدیته ی آن‌چه باران‌های اسیدی نامیده می‌شود ۴ و یا کمتر باشد (فصل ۶-۹ را مشاهده کنید). برعکس pH آب باران بدون آلودگی از ۵/۶ در مناطق مرطوب تا بیش از ۷ در مناطق خشک متغیر است، زیرا گردوغبار قلیایی با آب باران هنگام سقوط وارد واکنش می‌شود.

اسیدیته خیلی شدید خاک: اثرات اسیدی اکسیده شدن گوگرد می‌تواند شرایط اسیدیته شدیدی را در خاک به بار آورد. این مسأله زمانی صورت خواهد پذیرفت که اراضی ساحلی پوشیده از آب شور دریا، زه‌کشی شده و به زیر کشت آورده شوند. آب اقیانوس‌ها و نهشته‌های دریاچه‌ها دارای مقادیر نسبتاً زیادی گوگرد می‌باشد. در طول ایامی که خاک زیر آب است، سولفات‌ها به سولفیدهای عموماً پایدار آهن و منگنز احیا می‌شود. اگر دوران‌هایی با خشکی نسبی وجود داشته باشد، گوگرد عنصری می‌تواند با اکسایش جزئی سولفیدهای باقی‌مانده در خاکی که مستغرق بوده، تشکیل شود. میزان سولفید و گوگرد عنصری خاک‌های این باتلاق‌های جزرومدی صدها بار بیشتر از مقدار آن‌ها در خاک‌های نقاط مرتفع قابل مقایسه می‌باشد. رسوبات لایروبی شده از بندرگاه‌های ساحلی دارای مقدار زیادی از اشکال احیاء شده ی گوگرد مانند سولفیدهای آهن سیاه‌رنگ می‌باشند.

اگر خاک‌های دارای سولفید زیاد زه‌کشی شوند، سولفید و یا گوگرد عنصری به سرعت اکسیده شده و تشکیل اسیدسولفوریک می‌دهد:



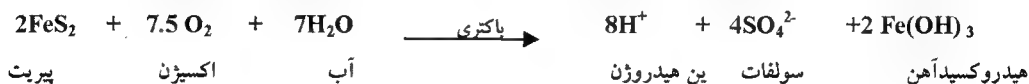
ممکن است pH خاک خیلی کاهش یافته و به ۱/۵ برسد، میزانی که در خاک‌های معمول نقاط مرتفع مشاهده نمی‌شود. رشد گیاه مسلماً نمی‌تواند در این pH صورت گیرد. به علاوه میزان سنگ آهک لازم برای خشی کردن اسیدیته چنان بالاست که اصلاح این خاک‌ها با آهک دادن غیرعملی می‌باشد.

^۱ - توجه داشته باشید که بخشی از این اسیدیته از اکسیدهای نیتروژن ناشی می‌شود، آن‌ها در نیوار اکسیده شده و به اسیدنیترو و اسیدنیتریک تبدیل می‌گردند. گوگرد و نیتروژن مشترکاً مسوول این مسأله می‌باشند.

اراضی بسیار وسیعی با خاک‌های باتلاقی دارای گوگرد زیاد (که سولفاکوپت^۱ و سولفاکونت^۲ طبقه‌بندی شده و معمولاً خاک‌های اسیدسولفات^۳ و یا کت‌کلی^۴ نامیده می‌شوند) در جنوب شرقی آسیا و در امتداد ساحل اقیانوس اطلس در جنوب آمریکا و آفریقا وجود دارند. آنها همچنین در اراضی جزرومدی در امتداد ساحل چندین منطقه دیگر، از جمله هلند و ساحل‌های جنوب شرقی و غرب آمریکا قرار گرفته‌اند. مادامی که این خاک‌ها به‌صورت غرقابی باشند، گوگرد احیا شده اکسیده نمی‌شود و pH خاک در حد ایجاد محدودیت پایین نمی‌آید، در نتیجه، تولید برنج بعضی مواقع در این خاک‌ها ممکن می‌باشد.

حضور خاک‌هایی که قابلیت تولید اسیدیته شدید را با اکسایش گوگرد داشته باشند، به اراضی باتلاقی ساحلی که هم‌اکنون تشریح گردید، منحصر نمی‌شود. نهشته‌های دریایی، که احتمالاً میلیون‌ها سال قبل در ارتباط با باتلاق‌های ساحلی بوده‌اند، اکنون تشکیل سنگ رگولیت داده و مناطق بزرگی را پوشانده‌اند که دیگر به‌وسیله‌ی اقیانوس‌ها و باتلاق‌ها غرقابی نمی‌باشند (فصل ۹-۲ را مشاهده کنید). دشت‌های ساحلی، امروزه معمولاً در زیر خود دارای این نهشته‌ها می‌باشند. همچنین بسیاری از انواع شیل‌ها و سایر سنگ‌های نهشته‌ای ممکن است دارای ترکیبات احیا شده‌ی گوگرد در شکل کانی سولفید آهن یا پیریت^۵ باشند (تابلو رنگی ۲۴ را مشاهده کنید). این سنگ‌ها معمولاً با نهشته‌های زغال‌سنگ که آن‌ها نیز میلیون‌ها سال پیش در مناطق باتلاقی تشکیل شده‌اند، همراه می‌باشد.

خاک‌برداری برای جاده‌سازی و عملیات استخراج زغال‌سنگ اغلب سبب آشکار شدن مواد پیریتدار مدفون شده بسیار قدیمی می‌گردد. وقتی پیریت در تماس با آب و هوا قرار گیرد، واکنش خالص زیر که به‌وسیله‌ی باکتری‌های اکسیدکننده‌ی گوگرد تسهیل می‌شود، صورت می‌پذیرد.



۴ مول اسیدسولفوریک تفکیک شده به ین‌های هیدروژن و سولفات که به‌وسیله‌ی واکنش بالا تولید می‌شود، ناشی از اکسیده شدن سولفید و آهن دو ظرفیتی در پیریت همراه با آبکافت است. تولید اسید از این واکنش مسأله‌ای بزرگ است که از رشد پوشش گیاهی در مناطق آلوده جلوگیری کرده (شکل ۲۷-۱۳) و سبب می‌شود که حفظ اراضی به‌هم‌خورده بر اثر عملیات معدن‌کاوی بسیار مشکل گردد. اگر مسأله بدون مهار پیش رود، ممکن است اسیدها به‌داخل نهرهای نزدیک آبشویی شوند. هزاران کیلومتر از نهرها به این ترتیب آلوده شده‌اند. آب و سنگ‌ها در این نهرها اغلب دارای رنگ نارنجی حاصل از ترکیبات آهن در زهاب اسیدی می‌باشند (تابلو رنگی ۲۶ را مشاهده کنید).



شکل ۲۷-۱۳ ساخت این بزرگراه بین ایالتی سبب برش و ظاهر شدن چندین لایه از سنگ‌های رسوبی شده است. یکی از این لایه‌ها دارای سولفید احیا شده بود. در مجاورت با آب و هوا این لایه در اثر اکسایش مواد سولفید، مقدار زیادی اسیدسولفوریک تولید نمود. به نبود رشد پوشش گیاهی پایین‌تر از منطقه‌ای که این اسیدها زه‌کشی می‌شوند توجه کنید.

¹ -Sulfaquept

² -Sulfaquent

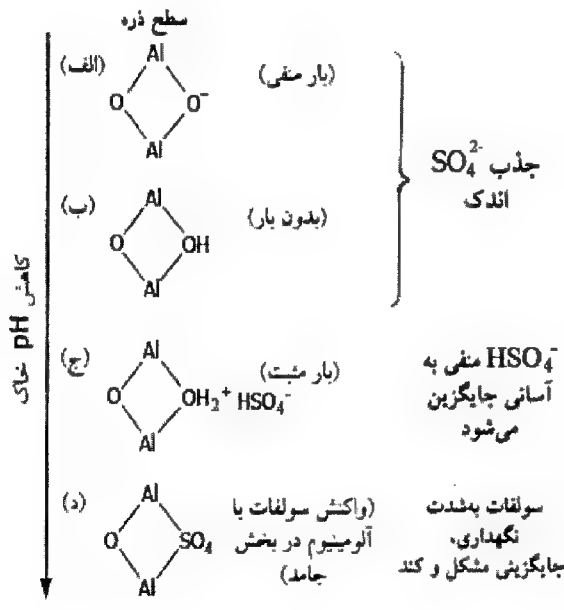
³ -Acid sulfate soil

⁴ -Catclays

⁵ -Pyrite

۲۲-۱۳ نگهداری گوگرد و تبادل آن

یون سولفات شکلی از گوگرد است که اکثر نباتات گوگرد مورد نیاز خود را در آن شکل از خاک جذب می‌کنند از آن‌جاکه بسیاری از ترکیبات سولفات کاملاً محلولند چنانچه سولفات به‌خصوص در مناطق مرطوب، جذب کلویدها نشده باشد به‌آسانی از خاک آبشویی می‌شود. همان‌گونه که در فصل ۸ گفته شد، خاک‌ها دارای مقداری ظرفیت تبادل آنیونی می‌باشند که در ارتباط با پوشش اکسیدهای آهن و آلومینیوم و تا حدی مقدار رس‌های سیلیکاتی ۱:۱ در آن‌ها می‌باشد. یون سولفات به‌وسیله بارهای مثبت که مشخصه خاک‌های اسیدی دارای این رس‌ها جذب می‌شود. آن‌ها همچنین به‌طور مستقیم با گروه‌های هیدروکسید که در سطح این رس‌ها نمایان شده‌اند، وارد واکنش می‌شود (شکل ۲۸-۱۳). سازوکار جذب سولفات را در بعضی اکسیدهای آهن و آلومینیوم و رس‌های نوع ۱:۱ تشریح می‌کند. توجه کنید که جذب سطحی سولفات در مقادیر پایین pH هنگامی که بارهای مثبت بر روی سطح کانی غالب می‌شوند، افزایش می‌یابد. بخشی از سولفات با ذرات رس وارد واکنش شده و در آن‌ها به‌شدت نگهداری می‌شوند، به‌طوری‌که جذب آن به‌وسیله نباتات، و یا آبشویی آن در داخل خاک بسیار جزئی است. در مناطق گرم مرطوب، مقدار گوگرد خاک‌های سطحی به‌طور شاخص پایین می‌باشد. هرچند سولفات بیشتری ممکن است به‌وسیله اکسیدهای آهن و آلومینیوم و رس‌های سیلیکاتی نوع ۱:۱ نگهداری شده و در افق‌های تحت‌الارضی التی‌سول‌ها و اکسی‌سول‌های این مناطق تجمع یابد (شکل ۲۱-۱۳). علایم کمبود گوگرد معمولاً در اوایل فصل رشد در روی التی‌سول‌های جنوب شرقی آمریکا، به‌خصوص در خاک‌های سطحی شنی با ماده‌ی آلی اندک، مشاهده می‌شود. هرچند ممکن است علایم با رشد نبات و رسیدن ریشه‌ها به افق‌های عمیق‌تر که سولفات در آن نگهداری شده است، ناپدید گردد.



جذب سولفات و آبشویی کاتیون‌های بازی

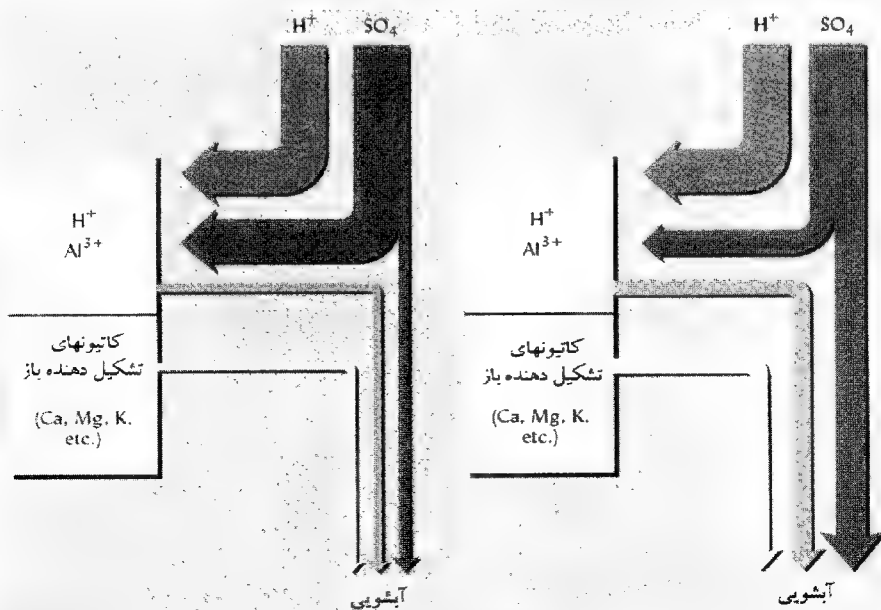
وقتی یون سولفات از خاک شسته می‌شود، معمولاً با کاتیون‌های هم‌ظرفیت مانند کلسیم، منیزیم و سایر کاتیون‌های بازی همراه است. در خاک‌های با ظرفیت بالای جذب سولفات، آبشویی سولفات پایین بوده و هدررفت کاتیون‌های همراه نیز پایین می‌باشد (شکل ۲۹-۱۳). برعکس، آبشویی سولفات از خاک‌های با ظرفیت کم جذب سولفات، معمولاً بالا بوده و مقدار زیادی کاتیون‌های بازی را با خود به‌همراه دارد. بنابراین، گوگرد به‌عنوان یک نگهدارنده‌ی غیرمستقیم این کاتیون‌ها در محلول خاک ملحوظ می‌گردد. این مسأله در خاک‌های جنگلی که مقادیر زیادی باران‌های اسیدی دریافت می‌دارند، دارای اهمیت بسیار زیادی است.

۲۳-۱۳ گوگرد و حفظ حاصلخیزی خاک

شکل ۳۰-۱۳ عمده دست‌آورد و هدررفت گوگرد را در خاک نشان می‌دهد. مسأله حفظ مقادیر کافی گوگرد برای تغذیه‌ی عناصر معدنی گیاهان به‌طور روز افزونی اهمیت پیدا می‌کند. گرچه امکان کمبود گوگرد از نیتروژن، فسفر و پتاسیم کمتر است، برداشت روبه افزایش

به وسیله گیاهان ایجاب می‌کند که درمورد کمبود مواظب باشیم. در بعضی از بخش‌های جهان، به خصوص در علف‌زارهای نیمه خشک، گوگرد هم اکنون محدودکننده‌ترین عنصر غذایی بعد از نیتروژن می‌باشد.

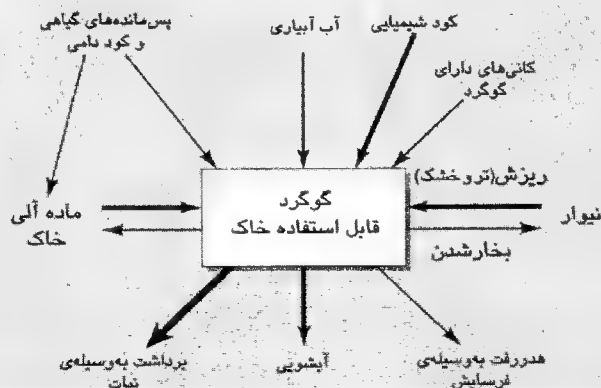
پس مانده‌های گیاهی و کود دامی می‌توانند در جبران گوگرد برداشت شده به وسیله گیاه موثر باشند، اما این منابع معمولاً در بازچرخ آن بخش از گوگرد کمک می‌کنند که قبلاً در مزرعه وجود داشته است. در مناطقی با گوگرد پایین انکای بیشتر بر مصرف کود شیمیایی می‌باشد. مصرف مرتب مواد دارای گوگرد در حال حاضر برای تولید یک محصول خوب در اراضی وسیع دور از کارگاه‌های صنعتی لازم است. مسلماً نیاز بیشتری برای استفاده از گوگرد در آینده وجود خواهد داشت.



خاک دارای ظرفیت بالای جذب گوگرد

خاک دارای ظرفیت کم جذب گوگرد

شکل ۲۹-۱۳ نمودار نشان‌دهنده‌ی هدررفت کاتیون‌ها بر اثر ظرفیت جذب سولفات به وسیله خاک‌های جنگلی می‌باشد. وقتی باران‌های اسیدی حاوی یون‌های سولفات (SO_4^{2-}) و هیدروژن (H^+) بر روی خاک‌های با ظرفیت بالای جذب سولفات فرو می‌ریزد (سمت چپ)، مقدار اندکی سولفات همراه با مقادیر بسیار اندکی از کاتیون‌هایی مانند Ca^{2+} و Mg^{2+} برای آشویی آماده می‌باشند. وقتی باران‌های اسیدی بر روی خاک‌هایی با ظرفیت اندک جذب سولفات فرو می‌ریزد (سمت راست)، اکثر سولفات در محلول خاک باقی‌مانده و همراه با مقداری کاتیون‌های معادل مانند Ca^{2+} و Mg^{2+} از خاک آشویی می‌یابد. یون‌های Al^{3+} که معمولاً جایگزین یون‌های Ca^{2+} و Mg^{2+} در همتافت جذب می‌شوند، برای بسیاری از گونه‌های جنگلی سمی می‌باشند. این حداقل می‌تواند به عنوان بخشی از اثرات منفی باران‌های اسیدی بر روی مناطق جنگلی به حساب آید.



شکل ۳۰-۱۳ دست‌آورها و هدررفت‌های عمده‌ی گوگرد قابل استفاده خاک، ضخامت پیکان‌ها بیانگر میزان نسبی گوگرد دخیل در هر فرایند در شرایط متوسط است گرچه تغییرات عمده‌ای در مزرعه صورت می‌گیرد.

۲۴-۱۳ نتیجه گیری نهایی

گوگرد و نیتروژن از نظر چگونگی چرخه در خاک‌ها بسیار مشابه می‌باشند. هر دو به‌وسیله‌ی کلویدهای خاک در اشکال قابل استفاده کُند نگهداری می‌شوند. هر دو در پروتیین و سایر اشکال آلی به‌عنوان بخشی از ماده‌ی آلی خاک وجود دارند. آزادشدن آن‌ها به یون‌های معدنی (SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+) که در این اشکال برای گیاهان عالی قابل استفاده می‌باشند، به‌وسیله‌ی ریزجاندانان صورت می‌گیرد. موجودات غیرهوازی قادرند که این عناصر را به اشکال گازی تبدیل کنند که بعداً به نیوار رها شده، و به گازهای مشابهی که از کارخانه‌های صنعتی و موتور اتومبیل‌ها آزاد می‌شوند، ملحق گردند. این گازها بر روی گیاهان، خاک‌ها و اشیاء تحت واژه باران اسیدی ریزش می‌نمایند. این ریزش‌ها دارای پیامدهای خطرناکی برای جنگلداری، کشاورزی و جامعه به‌طور کل می‌باشند.

تفاوت‌های عمده‌ای بین نیتروژن و گوگرد وجود دارد. گرچه مقادیر زیادی از نیتروژن و گوگرد خاک در ترکیبات آلی وجود دارند، اما بخش بزرگ‌تری از گوگرد خاک در ترکیبات معدنی، به‌خصوص در مناطق خشک‌تر به‌صورت گچ ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) در خاک تحت‌الارض وجود دارد. بعضی از موجودات خاک دارای توانایی تثبیت گاز عنصری N_2 به ترکیبات قابل استفاده نبات می‌باشند، فرایند مشابهی در گوگرد وجود ندارد. نیتروژن که در مقادیر بسیار بیشتر از گوگرد به‌وسیله‌ی گیاهان جذب می‌شود، باید به‌طور مرتب به‌وسیله‌ی پس‌مانده‌های گیاهی آلی، کود دامی و یا کود شیمیایی جبران گردد.

در مناطق روستایی دور از شهرها و کارخانه‌های صنعتی، کمبود گوگرد در گیاهان به‌طور معمول در حال افزایش است. در نتیجه‌ی برداشت روبه افزایش گوگرد به‌وسیله‌ی گیاهان پرمحصول و کاهش مصرف مطابق روش‌های معمول در خاک‌ها، این عنصر احتمالاً به‌عنوان یک جزء اصلی در برنامه‌های حاصلخیزی خاک به نیتروژن خواهد پیوست.

مسایل متعدد زیست‌محیطی حاد بر اثر مقادیر زیاد گوگرد و نیتروژن در اشکال خاص ایجاد گردیده است، درحالی‌که آلودگی آب به‌وسیله‌ی نترات‌ها احتمالاً بیشترین مسایل را در رابطه با نیتروژن دارا می‌باشند، ریزش اسیدی و زه‌کشی اراضی اسید سولفات (کت‌کلی) مسایل اصلی زیست‌محیطی قابل توجه در ارتباط با چرخه‌ی گوگرد در خاک‌ها می‌باشد. با استفاده از دانش خود درمورد چرخه‌ی نیتروژن و گوگرد حال می‌توان کار زیادی را برای تخفیف مسایل زیست‌محیطی در هر دو عنصر انجام داد. هرچند مسایل زیادی درمورد واکنش‌های نیتروژن و گوگرد و خاک و محیط باقی‌مانده است که باید آن‌ها را فراگرفت.

سوالات برای مطالعه

- ۱- ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار از طریق کود دامی و کود شیمیایی برای زراعت ذرت مصرف شد، اما فقط ۲۰۰ کیلوگرم در ذرت برداشت شده وجود داشت، ۱۰۰ کیلوگرم دیگر که به‌وسیله‌ی ذرت برداشت نشده است چه شده است؟
- ۲- مزایا و مضار گوگرد و نیتروژن اضافه‌شده سالانه را به‌وسیله‌ی انسان و به‌وسیله‌ی فرایندهای طبیعی مورد بحث قرار دهید.
- ۳- کلش گندم اضافه شده به یک خاک، که دارای ۱۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود حدوداً به‌میزان ۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار است. دوهفته بعد آزمون خاک نشان داد که نترات در خاک وجود ندارد، این وضعیت را چگونه توضیح می‌دهید؟
- ۴- تولید دام به‌صورت صنعتی دارای بعضی مسایل زیست‌محیطی و سلامتی از نظر نیتروژن می‌باشد، آن‌ها کدامند و چگونه می‌توانند مدیریت شوند؟
- ۵- چه تفاوت‌هایی از نظر نترات موجود در جویبارهایی که حوزه جنگلی را تخلیه می‌کنند با جویبارهایی که اراضی کشاورزی را تخلیه می‌کنند وجود دارد؟
- ۶- باران اسیدی چیست، منابع آن کدام است، و اثرات آن در کشاورزی و جنگل چیست؟
- ۷- نیتروژن از نیوار تثبیت شده و به‌وسیله‌ی رس‌های رومی کولیت و هموس نیز تثبیت می‌شود. بین دو فرایند تفاوت قائل شده و نقش میکروب‌ها را در هر دو معلوم کنید.
- ۸- کودهای شیمیایی و کود دامی معمولاً به خاک‌های کشاورزی اضافه می‌شوند. این خاک‌ها اغلب دارای نیتروژن و عناصر غذایی کمتری نسبت به خاک‌های جنگلی می‌باشند. علت را توضیح دهید.
- ۹- کمبود گوگرد امروزه در اراضی زراعی بیشتر از ۱۵ سال قبل است. علت چیست؟
- ۱۰- جنگل‌های حفاظتی حاشیه رودخانه (ریپارین) چگونه آلودگی نترات را در رودخانه‌ها و رودها کاهش می‌دهند؟
- ۱۱- خاک‌های اسید سولفات چیست؟ چگونه تشکیل می‌گردند و چگونه به بهترین وجه مدیریت می‌شوند؟
- ۱۲- در بعضی مناطق حاره‌ای نظام جنگل-زراعی که شامل زراعت مخلوط درختان و گیاهان خوراکی است، مورد استفاده می‌باشد. چه مزایایی در مدیریت نیتروژن این نظام در مقایسه با تک‌کشتی که شامل درختان نیست، وجود دارد؟

بیشتر آن چیزی که در خاک است همان جا می ماند
حتی وقتی که گیاهان از نبود آن در زحمت شوند
تعلیمی درخور فسفر و پتاسیم

فصل چهاردهم

فسفر و پتاسیم خاک

فسفر یک عنصر بحرانی در بوم سامان های کشاورزی و طبیعی در سرتاسر جهان می باشد. این عنصر پرمصرف یک جزء کلیدی از ترکیبات یاخته ای بوده و برای هر دو حیات جانوری و گیاهی ضروری است. در دنیای کشاورزی، اهمیت مدیریت فسفر برای تولید گیاهان سالم و عملکرد پرسود بعد از مدیریت نیتروژن در ردیف دوم قرار می گیرد. عرضه طبیعی فسفر در اکثر خاک ها پایین و قابلیت استفاده آن چه موجود است نیز بسیار اندک است. میزان فسفر ورودی از نیوار و بارندگی قابل اعماض است. خوشبختانه، اکثر بوم سامان های طبیعی به نحو مقداری کم از این عنصر را از دست می دهند چون فسفر نه تشکیل گاز می دهد که به نیوار بگریزد و نه به آسانی از خاک بر اثر زهاب مورد آبشویی قرار می گیرد. به علاوه بوم سامان های طبیعی دست نخورده چنان تحول یافته اند که سبب ارتقاء فرایندهای مشخص زیستی و شیمیایی گردیده و به گیاهان امکان می دهد از عرضه اندک این عنصر در دسترس به طور نسبتاً کارآیی استفاده کنند.

فسفر در ارتباط نزدیک با فعالیت احشام (و انسان) می باشد. استخوان ها و دندان ها دارای مقادیر زیادی از این عنصر می باشند. باستان شناسان میزان فسفر افق های خاک را از آن نظر مورد مطالعه قرار می دهند که می دانند تجمع زیاد غیر معمول این عنصر در محل های انجام می گیرد که محل اجتماع و زیستگاه های انسانی بوده و در آن جا استخوان های حیوانات اهلی و وحشی مورد استفاده را دور ریخته است. مقدار فسفر در اکثر خاک ها چنان اندک است که غلظت بالای آن بیانگر فعالیت انسانی در آن منطقه بوده است.

فسفر در دو مسأله جدی و گسترده و زیست محیطی مسوول می باشد. در کشورهای صنعتی کاربرد بی رویه و نامحدود فسفر در خاک ها در طول دهه ها سبب افزایش قابل توجه سطح این عنصر در لایه های سطحی بسیاری از خاک ها شده است. مصرف ضایعات انسانی، حیوانی و صنایع در خاک ها سبب افزایش فسفر شده است. هنگامی عملیات مدیریتی به اندازه ی کافی دقیق نیست، هدررفت فسفر از حوزه های آبخیز و یا تجهیزات اصلاح فاضلاب در رواناب و نهشته های فرسایش یافته سبب به هم زدن تعادل عناصر غذایی در رودخانه ها، دریاچه ها و شارگاه ها شده است. نهاده های افزوده شده فسفر عمدتاً باعث بروز فرایند غنی شدن انسانی^۱ شده است که تأمین آب مشروب را از این منابع در مخاطره قرار داده و استفاده از این سامانه های آبی را برای شيلات، تفریحات، صنعت و جلوه های طبیعی شدیداً محدود کرده است. کنترل فسفر بنابراین در اکثر برنامه های کیفیت آب در سطح ملی و منطقه ای دارای اولویت بالایی می باشد.

در حد نهایی دیگر نبود فسفر قابل استفاده به مقدار کافی برای ایجاد پوشش و تولید محصولات گیاهی، سبب تخریب اراضی و آلودگی منابع آب در مناطق وسیع به خصوص در کشورهای کمتر توسعه یافته مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری شده است. کمبود فسفر در این مناطق اغلب رشد گیاهان را در اراضی زراعی محدود و حتی ممکن است سبب از بین رفتن کامل محصول گردد و زارعین را مجبور سازد که زمین بیشتری از پوشش طبیعی پاک کرده و برای زنده ماندن به زیرکشت آورند. بدون وجود فسفر کافی تجدید پوشش طبیعی در جنگل های به هم خورده و مناطق ساوانا برای جلوگیری از فرسایش و تخلیه مواد آلی بسیار بطی می باشد. تا مادامی که منابع قابل استفاده فسفر اضافه نشود رشد پوشش گیاهی ضعیف بوده و این ممکن است سبب ایجاد توان تولید پایین و تخریب اراضی و آلودگی بعدی آب شود. درحالی که پتاسیم خاک نقش مستقیمی در کیفیت زیست محیطی همچون فسفر ایفا نمی کند کمبود پتاسیم خاک نیز معمولاً سبب محدودیت رشد نباتات و کیفیت آن خواهد شد. پتاسیم همراه با نیتروژن و فسفر سبب تضمین نباتات سالم خواهد شد، گرچه در اکثر خاک ها که موجودی کل پتاسیم بالا می باشد اما بیشترین قسمت موجودی به صورت کانی های غیر محلول و غیر قابل استفاده برای نبات می باشد. همچنین گیاهان چنان به مقادیر زیاد پتاسیم نیازمند می باشند که عملیات مدیریت دقیق برای قابل استفاده نمودن هر چه سریع تر این عنصر برای رشد بهینه لازم می باشد.

فسفر و پتاسیم هر دو به مقدار زیاد به صورت کود شیمیایی مورد استفاده قرار می گیرند، بنابراین همراه با نیتروژن عنوان (کودهای عنصری) را به خود اختصاص داده اند. اگر از اکثر زراعتین پرسیده شود چه عناصر غذایی را در کودی که مصرف می کنید مورد استفاده قرار می دهید جواب آن ها با احتمال زیاد این خواهد بود که NPK (ازت، فسفر و پتاس) علاوه بر نقش فسفر در حاصلخیزی اثرات مهم زیست محیطی فسفر

^۱ Cultural Eutrophication: کلمه eutrophication در ریشه eutrophos یونانی به معنی خوب تغذیه شده و یا در حال تغذیه آمده است. تراکم طبیعی عناصر غذایی در طول قرن ها سبب پرشدن دریاچه ها از گیاهان و از دست رفتن اکسیژن محلول مورد نیاز ماهی ها می باشد، که فرایند غنی شدن طبیعی نامیده می شود. ورودی بیش از حد عنصر غذایی بر اثر فعالیت انسان به طور سرسام آوری این فرایند را سرعت بخشیده و به آن Cultural eutrophication گویند.

را نیز در نظر داشته باشید. واضح است که فهم درست فرایند خاک که چگونه چرخش این دو عنصر پرمصرف تحت سیطره آن است برای هرکس که با خاک‌ها سروکار دارد اساسی می‌باشد.

۱-۱۴ نقش فسفر در تغذیه گیاهی و حاصلخیزی خاک

بدون فسفر گیاه و حیوان قادر به رشد و نمو نمی‌باشند. فسفر جزء اساسی ماده‌ی آلی که اغلب به آن انرژی رایج^۱ یاخته زنده اطلاق می‌شود: آدونوزین تری فسفات^۲ (ATP) است که در طی تنفس و سوخت‌وساز نوری بازسازی می‌شود. ATP دارای گروه‌های پرانرژی فسفات می‌باشد که سبب راه‌اندازی فرایندهای زیستی با شدیدترین نیازهای انرژی می‌گردد. جذب عناصر غذایی و انتقال آن‌ها در داخل نبات و هم‌سازی آن‌ها در مولکول‌های مختلف فرایندهای گیاهی، مصرف‌کننده انرژی می‌باشند که نیازمند ATP است.

فسفر جزء اساسی دزوکسی‌ریبونوکلوئیک‌اسید DNA^۳، جایگاه توارث و ریبونوکلوئیک‌اسید RNA^۴ است که بازسازی پروتئین را در گیاهان هدایت می‌کند. فسفولیپیدها^۵ که نقش اساسی در غشاء یاخته‌ای ایفا می‌کنند، گروه دیگری از ترکیبات مهم آلی حاوی فسفر می‌باشند. برای اکثر گونه‌های نباتی، میزان کل فسفر برگ‌های سالم معمولاً ۰/۲ تا ۰/۴ درصد وزن خشک می‌باشد.

فسفر و رشد گیاه

جنبه‌های ارتقای رشد گیاه: تغذیه‌ی کافی فسفر به وسیله‌ی گیاه سبب ارتقاء بسیاری از جنبه‌های فیزیولوژی گیاهی از جمله فرایندهای سوخت‌وساز نوری، تثبیت نیتروژن، گلدهی، میوه‌دهی (از جمله بذردهی) و رسیدن محصول می‌شود. رشد ریشه، به خصوص توسعه‌ی ریشه‌های جانبی و ریشک‌های افشان به وسیله‌ی فسفر تقویت می‌شود. در غلات تغذیه‌ی خوب فسفر سبب استحکام بافت‌های ساختمانی موجود در کلش و ساقه می‌گردد (جدول ۱-۱۴)، بنابراین از ورس^۶ (خواهید نبات) ممانعت خواهد کرد، بهبود کیفیت محصول به خصوص در گیاهان علوفه‌ای و سبزی‌ها مزیت دیگر این عنصر می‌باشد.

جدول ۱-۱۴ تأثیر تغذیه فسفر در پوسیدن ساقه‌ی ذرت

رقم اصلاح شده ذرت	فسفر موجود در برگ (میلی گرم در کیلوگرم برگ خشک)	درصد نباتات (سر پا)	مقاومت برشی ساقه، (kg/cm ²)
رقم دارای تجمع فسفر	۰/۷۵	۹۲	۲۸۸
رقم دارای فسفر کم	۰/۲۴	۷۰	۱۰۵

علامت کمبود فسفر در نبات: تشخیص کمبود فسفر در گیاهان معمولاً به آسانی تشخیص کمبود سایر عناصر غذایی نیست. گیاهان دارای کمبود معمولاً کوتاه‌قد، نازک ساقه و نخ‌مانند، اما با برگ‌های تیره معمولاً سبز متمایل به آبی می‌باشند، بنابراین در نبود بوته‌های سالم بسیار بزرگ‌تر برای مقایسه، بوته‌های دارای کمبود فسفر به ظاهر بسیار عادی به نظر می‌رسند. در موارد شدید کمبود، فسفر می‌تواند سبب زودپیر شدن برگ‌ها و ایجاد رنگ ارغوانی در ساقه و برگ نبات می‌شود (نباید با اثرات دمای پایین اشتباه گرفت). فسفر در بافت‌های زاینده که در آن یاخته‌ها به سرعت در حال رشد و نمو هستند به مقدار زیادی مورد نیاز است. فسفر در داخل نبات بسیار متحرک بوده و لذا کمبود در برگ‌های مسن مشاهده می‌شود. زیرا فسفر برگ‌های مسن به حرکت درآمده و به برگ‌های جدید در حال رشد انتقال می‌یابد. رنگ ارغوانی و پیر شدن زودهنگام همراه با کمبود در برگ‌های پیر بسیار فراوان است. نباتات دارای کمبود فسفر با بلوغ دیررس، گلدهی پراکنده و نامرغوب بودن بذر مشخص می‌شوند.

مسئله فسفر در حاصلخیزی خاک

نقش فسفر در حاصلخیزی خاک از سه جنبه قابل بررسی است. اول، این که فسفر کل خاک پایین بوده و معمولاً از ۱/۱۰ تا ۱/۴ مقدار نیتروژن و ۲/۱۰ مقدار پتاسیم بیشتر نیست، میزان فسفر خاک‌ها از ۲۰۰ تا ۲۰۰۰ کیلوگرم در یک هکتار در عمق شخم متغیر و به‌طور متوسط

^۱ -Energy Currency

^۲ -Adonositriphosphate

^۳ -Deoxyribonucleic Acid

^۴ -Ribonucleic Acid

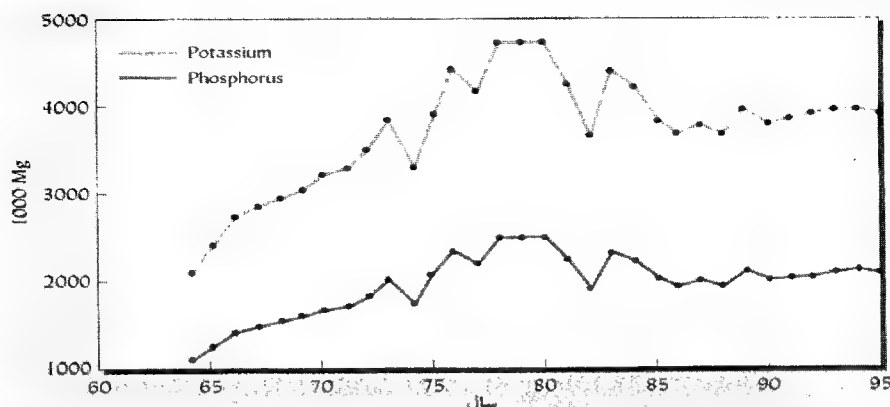
^۵ -Phospholipids

^۶ -lodging

۱۰۰۰ کیلوگرم می‌باشد. دوم، ترکیبات فسفره موجود در خاک معمولاً غیرقابل استفاده گیاهان است، زیرا اغلب بسیار نامحلول می‌باشند. سوم، وقتی منابع محلول فسفر مانند فسفر موجود در کودهای شیمیایی و یا کود دامی به خاک‌ها اضافه شوند، آن‌ها تثبیت شده (به اشکال غیرقابل استفاده تغییر می‌یابند) و در طول زمان تشکیل ترکیبات بسیار نامحلول می‌دهند. ما این واکنش‌های تثبیت^۱ را در جزئیات مورد بررسی قرار خواهیم داد (فصل ۸-۱۴)، زیرا نقش مهمی در تعیین مقدار و روش مصرف فسفر در خاک‌ها دارند.

از آن‌جاکه در واکنش‌های تثبیت فقط بخش کوچکی از فسفر کود (۱۵-۱۰ درصد) به وسیله‌ی نبات در سال توزیع آن جذب گیاه می‌گردد، در کشورهای صنعتی که زارعین توان مالی مصرف کود فسفره را دارند ۲ تا ۴ برابر فسفر زیادتري از آن‌چه که ممکن است به وسیله‌ی نبات برداشت شود هر سال مصرف می‌کنند، با تکرار این عمل در طول سالیان متمادی ظرفیت تثبیت فسفر خاک اشباع گردیده و میزان فسفر قابل استفاده نبات در بسیاری از خاک‌های کشاورزی ظرفیت‌سازی می‌شود به طوری که بیش از آن‌چه فسفر به وسیله‌ی محصول برداشت می‌شود، نیاز به مصرف کود ندارد. در واقع بسیاری از خاک‌های کشاورزی در کشورهای صنعتی به خصوص با سابقه طولانی بر اثر مصرف کود دامی و یا کود شیمیایی چنان فسفر قابل استفاده در آن‌ها تجمع یافته که نیاز به فسفر اندک بوده و یا هیچگونه فسفر اضافی تا مادامی که فسفر تا حد متوسط در طول سالیان دراز نزول پیدا نکند مصرف نمی‌شود. آمار مصرف کود شیمیایی در ایالات متحده آمریکا بازتاب این واقعیت است که زارعین اخیراً به این نتیجه رسیده‌اند که مصرف کود شیمیایی درجایی که میزان فسفر ظرفیت‌سازی شده است می‌تواند کاهش یابد (شکل ۱-۱۴). ظرفیت‌سازی فسفر در طولانی مدت سبب بهبود حاصلخیزی خاک شده اما منجر به پیامدهای نامطلوب زیست‌محیطی خاص شده است که در زیر مورد بحث قرار می‌گیرد.

در بسیاری از کشورهای درحال توسعه، به ویژه در آفریقا، چنین مصرف بسیار زیاد فسفر قاعده نیست. در کشورهای آفریقایی نیمه‌صحرائی که تولید سرانه‌ی غذا در سال‌های اخیر کاهش یافته است، افزودن این عنصر غذایی برای محصولات غذایی فقط کسری از فسفر خارج شده در محصول برداشت شده است. در طول سال‌ها فسفر خاک تخلیه شده است، به طوری که در بسیاری از مناطق نبود این عنصر اولین عامل محدودکننده‌ی تولید محصولات غذایی است. این فسفر همچنین به طور غیرمستقیم در تأمین نیتروژن ایجاد مانع می‌نماید، زیرا رشد گیاهان نیازمند تثبیت‌کننده نیتروژن در شرایط فسفر کم محدود می‌گردد. کاهش سرانه‌ی تولید غذا در آفریقای نیمه‌صحرائی تا حل شدن مسائل بحرانی کمبود فسفر به نظر نمی‌رسد، وارونه گردد.



شکل ۱-۱۴ برآورد میزان کود فسفر و پتاسه مصرف شده سالانه در اراضی زراعی آمریکا از سال ۱۹۶۴. توجه داشته باشید که مصرف سالانه‌ی فسفر به طور پایدار تا حدود سال ۱۹۸۰ افزایش و سپس کاهش یافته تا در ۲ میلیون تن متریک در سال یکسان گردیده است. کاهش و یکسان گردیدن میزان مصرف فسفر بازتاب نیاز کمتر به ظرفیت‌سازی فسفر در خاک‌های زراعی می‌باشد که در آن‌ها ظرفیت تثبیت فسفر به مقدار زیادی اشباع شده است. روند کاهش میزان مصرف فسفر از سال ۱۹۸۰ دقیقاً ناشی از تأثیرات اقتصادی زراعی می‌باشد، نه زیست‌محیطی، زیرا روند مصرف پتاسیم، یک عنصر غذایی غیرآلاینده نیز تقریباً مشابه فسفر است. نمونه‌ای از تأثیرات اقتصادی تحریم نفتی ۷۴-۱۹۷۳ است که سبب افزایش سرسام‌آور کودهای شیمیایی و کاهش قابل توجه مصرف در سال ۱۹۷۴ گردید. کاهش شدید در سال ۱۹۸۳ بیانگر سیاست پرداخت یارانه به وسیله‌ی وزارت کشاورزی آمریکا برای ترغیب زارعین در کاهش سطح زیرکشت ذرت می‌باشد. در سایر قسمت‌های جهان تولید پایدار محصولات احتمالاً نیازمند مصرف فسفر و پتاسیم طی سال‌های طولانی آبی می‌باشد.

^۱ - توجه کنید که واژه‌گان (تثبیت) که درمورد فسفر به کار رفته دارای همان معنی کلی تثبیت شیمیایی یون‌های پتاسیم یا آمونیوم می‌باشد، به این معنی ماده‌ی شیمیایی که تثبیت می‌شود، در پیوند قرار گرفته و در دام گیر کرده و یا چنان به وسیله‌ی بخش جامد خاک محکم نگهداری شده‌اند که برای گیاهان تقریباً غیرقابل استفاده است. در مقابل تثبیت نیتروژن گازی در ارتباط با تبدیل زیستی گاز N_2 به گیاهان است که گیاهان می‌توانند مورد استفاده قرار دهند.

۲-۱۴ اثرات فسفر بر کیفیت محیط زیست

برخلاف ترکیبات خاص نیتروژنی، که در طول چرخه نیتروژن (برای نمونه آمونیاک، نترات و نیتروآمین، فصل ۱۳ را مشاهده کنید) به دست می‌آید، فسفر اضافه شده به سامانه‌های آبی از طریق خاک برای ماهی، احشام و انسان سمی نیست. هرچند فسفر خیلی زیاد و فسفر خیلی کم می‌تواند اثرات شدید و گسترده منفی بر کیفیت زیست محیط داشته باشند. مسایل زیست‌محیطی عمده در ارتباط با فسفر خاک عبارتست از (۱) تخریب اراضی^۱ در اثر کمبود فسفر قابل‌استفاده و (۲) غنی‌شدن تسریعی^۲ بر اثر فسفر زیادی. هر دو مسأله در ارتباط با نقش فسفر به‌عنوان یک عنصر غذایی می‌باشد.

تخریب اراضی

بسیاری از خاک‌های شدیداً هوادهیده در مناطق گرم مرطوب و نیمه‌مرطوب جهان دارای ظرفیت اندکی در تأمین فسفر برای رشد نبات می‌باشند، که بخشی مربوط به قابلیت استفاده اندک فسفر بر اثر هدررفت گسترده‌ی فسفر طی ایام طولانی هوادیدگی نسبتاً شدید و بخشی دیگر به‌خاطر قابلیت استفاده پایین فسفر در ترکیبات آهن و آلومینیوم می‌باشد که شکل‌های غالب فسفر در این خاک‌ها را تشکیل می‌دهد. بوم‌سامان‌های طبیعی دست‌نخورده در این مناطق دارای فسفر کافی در زیتوده و ماده‌ی آلی برای تولید درخت و یا علف به مقدار لازم می‌باشند. قسمت اعظم فسفر جذب‌شده گیاهان در این بوم‌سامان‌ها از تجزیه‌ی پسماندهای گیاهی دیگر گیاهان می‌باشد. مقدار بسیار کمی فسفر تا مادامی که نظام دست‌نخورده باقی باشد از دست می‌رود.

زمانی که زه‌ودن جنگل برای انجام کشت و کار صورت می‌گیرد (با جنگل‌تراشی و یا با آتش‌زدن) میزان هدررفت فسفر، همراه با ذرات خاک فرسایش‌یافته در رواناب و یا برداشت به‌وسیله‌ی زیتوده (برداشت محصول) می‌تواند قابل‌توجه باشد. فقط در طول چند سال، سامانه ممکن است بخش اعظم فسفری را که بین خاک‌ها و گیاهان در چرخش بوده است از دست بدهد. فسفر باقیمانده معدنی در خاک برای جذب نبات به مقدار بسیار زیادی غیرقابل استفاده می‌باشد، در این حالت ظرفیت تأمین فسفر خاک دست‌خورده چنان به سرعت کاهش می‌یابد که رشد مجدد پوشش طبیعی به‌صورت پراکنده بوده و در اراضی تبدیل شده برای استفاده کشت و کار گیاهان از تولید عملکرد سودمند باز می‌مانند (شکل ۲-۱۴).

گیاهان نام‌دار، که انتظار بر این است ذخایر نیتروژن خاک را تجدید کنند، با کمبود فسفر صدمات سختی خواهند خورد، زیرا موجودی اندک فسفر، گره‌بندی مؤثر را محدود کرده و فرایند تثبیت زیستی نیتروژن را به تأخیر خواهد انداخت. گیاهان ضعیف دارای کمبود نیتروژن و فسفر پوشش ضعیفی را برای ممانعت از شستشوی خاک سطحی در باران‌های سنگین ایجاد خواهند کرد. فرسایش حاصل سبب کاهش بیشتر حاصلخیزی و ظرفیت نگهداری آب خواهد شد. این خاک‌ها با فقر مداوم عناصر غذایی تنها می‌توانند پوشش اندکی تأمین کرده، بنابراین، سبب تسریع تخریب خواهند گردید. در ضمن ذرات خاک فرسایش یافته در بخش‌های پایین حوزه‌ی آبخیز به‌صورت رسوب سبب پرشدن مخازن شده و گل‌آلودگی رودخانه‌ها را بالا می‌برد.

احتمالاً حدود ۲ میلیارد هکتار اراضی در جهان وجود دارند که کمبود فسفر سبب محدودیت رشد نباتات زراعی و پوشش بومی در آن‌ها می‌شود. بیشتر این اراضی در کشورهای فقیر، که زارعین سرمایه اندکی برای خرید کود دارند، قرار گرفته‌اند. بدون اعمال مدیریت مناسب در میزان فسفر مصرفی، امید اندکی برای حفظ توان تولید و کامیابی ساکنان این اراضی وجود دارد. متوقف و یا برعکس نمودن این نوع تخریب اراضی نیازمند مدیریت چرخه‌ی فسفر برای استفاده مؤثر از منابع اندک فسفر می‌باشد.

تخریب کیفیت آب

غنی‌شدن تسریعی و یا انسانی (تابلو ۱-۱۴) به دلیل واردشدن فسفر به‌داخل رودخانه از منابع نقطه‌ای^۳ و یا غیرنقطه‌ای^۴ صورت می‌گیرد. تشخیص، تنظیم و پاک‌سازی منابع نقطه‌ای مانند جریان‌های خروجی از ایستگاه‌های تصفیه فاضلاب، صنایع و سایر منابع مشابه نسبتاً آسان است. در طول چند دهه گذشته بسیاری از کشورهای صنعتی در کاهش بار فسفر حاصل از منابع آلودگی نقطه‌ای پیشرفت زیادی کرده‌اند. برعکس تشخیص و مهار منابع غیرنقطه‌ای مشکل می‌باشد. منابع غیرنقطه‌ای فسفر عمدتاً رواناب و نهشته‌های فرسایش یافته از خاک‌های صدمه‌دیده در حوزه‌های تحت تأثیر می‌باشند. هر دو این منابع در حال حاضر علت اصلی غنی‌شدن در بسیاری از مناطق هستند.

^۱ -Land degradation^۲ -Accelerated eutrophication^۳ -Point Source^۴ -Non Point Source

هدررفت فسفر از یک حوزه آبخیز می‌تواند به وسیله فعالیت‌های مختلف انسانی از جمله برداشت الوار، چرای شدید، عملیات خاک‌ورزی، و مصرف کود دامی و کودهای شیمیایی حاوی فسفر افزایش یابد (جدول ۲-۱۴). در مناطقی که خاک‌های آن‌ها طی سالیان دراز از فسفر اشباع شده است میزان فسفر بیشتری را در اثر فرسایش در رواناب و نهشته به رودخانه‌ها تحویل خواهد داد.

دلایل چندی برای افزایش میزان فسفر در سطح خاک تا این مقدار وجود دارد. اول، زارعین از مدت‌ها قبل دریافته‌اند که وقتی کود شیمیایی فسفر محلول در خاک‌های دارای فسفر کم مصرف شود، بیشتر فسفر در اشکالی تثبیت می‌شوند که گیاهان نمی‌توانند از آن استفاده کنند (بخش ۶-۱۴). برای جبران این عدم کارایی، کشاورزان در کشورهای صنعتی به‌طور سنتی مقدار فسفر بیشتری از آن‌چه در محصول برداشت می‌شود به خاک خود اضافه می‌کنند. دوم، در مواردی که کود دامی و لجن فاضلاب به‌کار برده می‌شود، مقدار مورد نیاز کود اغلب برحسب نیاز نیتروژن در محصول زراعی محاسبه می‌شود، مشخص شده است که مقدار فسفر موجود در کود دامی احتمالاً ۲ تا ۴ برابر فسفر جذب شده به وسیله گیاه می‌باشد بنابراین، میزان فسفر زیادی در خاک‌های زراعی تحت مدیریت متمرکز در طول سال‌ها افزایش یافته، و در نتیجه میزان فسفر در رواناب و نهشته‌ی حاصل از این خاک‌ها افزایش می‌یابد.



شکل ۲-۱۴ در بسیاری از خاک‌ها با هوادیدگی شدید در مناطق گرمسیر و نیمه‌گرمسیر، ممکن است قابلیت استفاده اندک فسفر، و همین‌طور سایر عناصر غذایی، سبب محدودیت رشد مجدد پوشش طبیعی و یا تولید محصولات زراعی به‌دنبال از بین بردن پوشش بومی گردد. (الف) تجدید رشد و پوشش طبیعی در کرت جداشده کودنخورده در مناطق تخریب‌شده‌ی جنگل‌های بارانی کاراییب در پرتریکو بسیار پراکنده می‌باشد. (ب و ج) فسفر در مزرعه‌ی ذرت این زن آفریقایی چنان تخلیه شده است که محصول اندک بوده و یا اصلاً محصولی از نبات دچار کمبود شدید فسفر برداشت نخواهد شد. در هر دو حال (پوشش بومی و زراعت) رشد ضعیف نبات سبب ایجاد حساسیت خاک به فرسایش و سایر فرایندهای تخریبی خواهد شد.

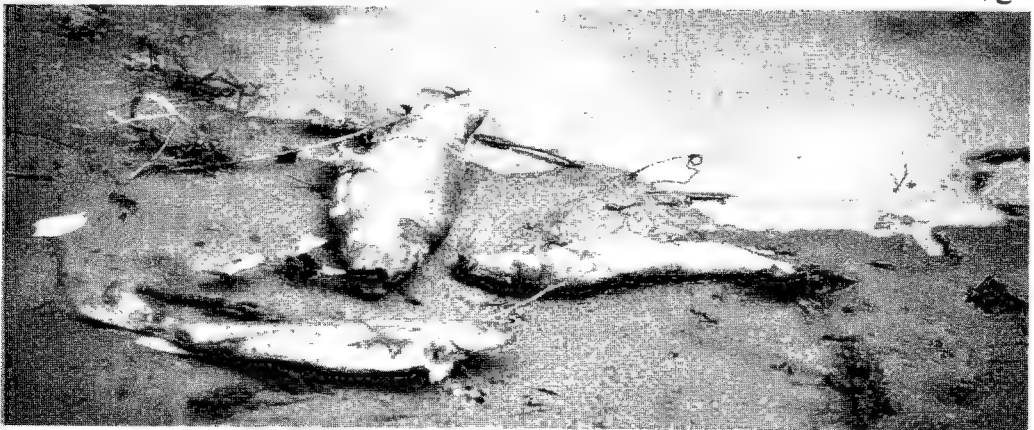
مطالعات در بسیاری از مناطق نشان داده‌اند که خاک‌هایی که به تولید نباتات زراعی اختصاص یافته‌اند، به‌مراتب فسفر بیشتری به رودخانه‌ها، درمقایسه با جنگل‌های دست‌نخورده و یا چمن‌زارها، ازدست خواهند داد. رودخانه‌هایی که حوزه‌های آبخیز را که عمدتاً تحت کاربری کشاورزی هستند، زه‌کشی می‌کنند، دارای بار بیشتری از فسفر می‌باشند. علت آن همان‌طور که تشریح گردید، تجمع فسفر در خاک‌های سطحی و عملیات زراعی است که میزان فسفر را در رواناب و فرسایش افزایش می‌دهد (شکل ۴-۱۴).

تابلو ۱-۱۴ غنی شدن

رشد زیاد مواد گیاهی در نظام‌های زمینی یک مزیت به‌شمار می‌آید، اما در سامانه‌های آبی این رشد می‌تواند سبب ایجاد مسائل فراوان در کیفیت آب گردد. رشد ناخواسته‌ی جلبک‌ها (گیاهان شناور تک‌یاخته‌ای) و گیاهان آب‌زی غنی‌شدن نامیده می‌شود، که می‌تواند استخرها و دریاچه‌ها را به محیط نامناسبی برای ماهی تبدیل کرده و آب را برای آشامیدن نامطلوب کنند. در بوم‌سامان‌های طبیعی، دریاچه‌ها معمولاً روشن و عاری از رشد زیاد گیاهان بوده و دارای جوامع متعددی از جانداران می‌باشد. این به‌خاطر آن است که چند عامل (مانند میزان فسفر و نیتروژن اندک) سبب محدودیت رشد جلبک‌ها و سایر گیاهان می‌شود. آب‌های حاوی مواد لب‌شور (قلیایی) و شور عمدتاً از نظر نیتروژن فقیر بوده و رشد گیاهان بر اثر آلاینده‌های حاوی نیتروژن تحریک می‌شود. از طرف دیگر اکثر آب‌های شیرین دریاچه‌ها و رودخانه‌ها معمولاً دارای فسفر اندک می‌باشند، بخشی از علت این است که میزان فسفر در آب به‌طور شاخص پایین بوده و بخش دیگری از علت آن است که تثبیت نیتروژن به‌وسیله‌ی سیانوباکتری‌ها (جلبک‌های سبز-آبی) انجام می‌شود. سطح بحرانی فسفر، که بیشتر از آن ماسه غنی‌شدن کشیده می‌شود، حدود 0.3 میلی‌گرم فسفر محلول و 0.1 میلی‌گرم در لیتر فسفر کل است.

وقتی فسفر به یک دریاچه با فسفر اندک اضافه می‌شود، سبب تحریک طغیان رشد جلبک‌ها می‌گردد (به آن شکوفایی جلبک^۱ اطلاق می‌شود) و اغلب سبب تغییر گونه‌های غالب جلبک می‌گردد. ممکن است جلبک‌های تحریک‌شده به‌وسیله‌ی فسفر سطح آب را با پرده‌ای از کف جلبکی پوشش دهند. ممکن است دریاچه به‌وسیله‌ی گیاهان عالی که رشد آن‌ها نیز به‌وسیله‌ی فسفر اضافه شده تحت تأثیر قرار گرفته، دچار انسداد گردد. وقتی این گیاهان آب‌زی و پوشش جلبک می‌میرند، آن‌ها در کف استخر غوطه‌ور گردیده و تجزیه آن‌ها به‌وسیله‌ی ریزجانداران تمام اکسیژن محلول در آب را مصرف می‌کنند. این دریاچه‌های غنی‌شده اغلب دچار کدورت گشته و رشد پوشش آب‌زی متفرق و جانداران کف‌زی^۲ که به‌عنوان غذای اکثر جوامع ماهی عمل می‌کنند، محدود می‌شوند. در موارد حاد غنی‌شدن سبب کشتار سنگین ماهی می‌گردد (شکل ۳-۱۴).

غنی‌شدن سبب تغییر شکل آب روشن غنی از اکسیژن خوش‌طعم به آب تیره‌ی فقیر از اکسیژن بدطعم و بدبو و احتمالاً سمی خواهد شد. شرایط غنی‌شده مناسب برای رشد سیانوباکتر، جلبک‌های سبز-آبی بوده که عمدتاً غذای نامطلوبی برای پلانکتون‌های^۳ جانوری می‌باشند، آن‌ها نیز منبع اصلی غذای ماهی‌ها هستند. سیانوباکتری‌ها، سم‌ها و ترکیبات بدطعم و بدبو ایجاد می‌کنند که آب را برای مصرف انسان‌ها و حیوانات نامناسب می‌سازند. بعضی از جلبک‌های رشته‌ای می‌توانند صافی‌های ورودی تصفیه آب را مسدود کرده و سبب افزایش هزینه تصفیه گردند، ممکن است رشته متراکم جلبک و گیاهان آب‌زی آب را برای قایق‌رانی و شنا نامناسب سازد. به‌علاوه آب‌های غنی‌شده معمولاً دارای سطح پایینی از فعالیت‌های زیستی است (دارای تعداد معدودی گونه و تعداد ماهی اندکی از گونه‌های مطلوب می‌باشند).

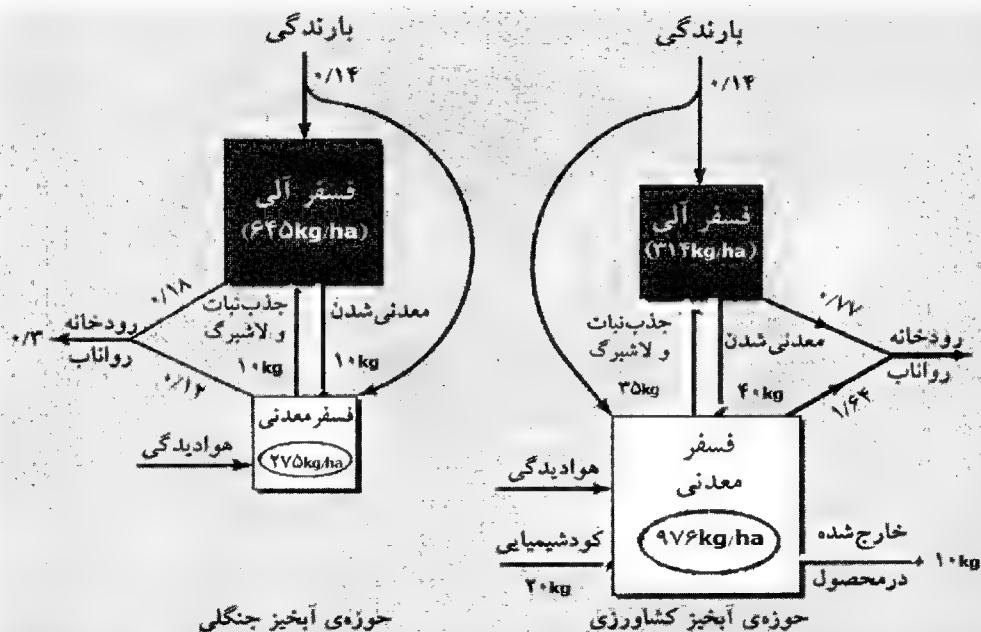


شکل ۳-۱۴ در موارد حاد غنی‌شدن، ممکن است کشتار جمعی ماهی در دریاچه‌ها و رودخانه‌های حساس صورت گیرد. این کشتار نتیجه‌ی شرایط غیرهوازی است که در اثر تجزیه توده‌های زیاد جلبک حاصل از نهاده‌های زیاد فسفر (بعضی مواقع نیتروژن) به وجود می‌آید.

^۱ - Algal bloom

^۲ - Benthic organism

^۳ - Zooplankton



شکل ۲-۱۴ تعادل فسفر در خاک‌های سطحی التی سول درحوزه‌های آبخیز جنگلی و زراعی مجاور همدیگر. جنگل عمدتاً از درختان چوب‌سخت بالغ که تقریباً به مدت ۴۵ سال و بیشتر بدون به هم زدن باقی مانده بودند. اراضی کشاورزی تحت کشت گیاهان ردیفی به مدت بیش از یکصدسال قرار داشتند. به نظر می‌رسد که در اراضی کشاورزی حدود نصف فسفر آلی از بدو شروع کشت و کار به فسفر معدنی تبدیل شده و یا از نظام هدررفت داشته است. درعین حال مقادیر قابل توجهی از فسفر معدنی بر اثر مصرف کود در خاک تجمع یافته است. درمقایسه با خاک‌های جنگلی معدنی شدن فسفر در خاک‌های کشاورزی حدود ۴ برابر و میزان فسفر ازدست‌رفته به رودخانه‌ها ۸ بار بیشتر است. جریان فسفر به وسیله پیکان‌ها بر حسب کیلوگرم در هکتار در سال ارائه شده است. جالب توجه است که بدانیم تقریباً ۹۵٪ فسفر ازدست‌رفته از اراضی کشاورزی به صورت فسفر ذره‌ای است، در صورتی که ۳۳ درصد هدررفت اراضی جنگلی به صورت محلول و ۶۷ درصد آن به صورت ذره‌ای است.

جدول ۲-۱۴ تأثیر تولید گندم و نوع عملیات خاک‌ورزی بر هدررفت سالانه‌ی فسفر در رواناب و نهشته‌های فرسایش‌یافته از خاک‌ها در دشت‌های بزرگ جنوبی کل فسفر ازدست‌رفته شامل فسفر محلول در رواناب و فسفر جذب‌شده‌ی ذرات فرسایش یافته است*. اگرچه چرای گاو در چمن‌زار طبیعی احتمالاً سبب هدررفت فسفر در این حوزه گردید. هدررفت از حوزه‌های زراعی حدود ۱۰ بار بیشتر بود. در مزارع با نظام نبود خاک‌ورزی، فسفر ذره‌ای کمتر، اما درمقایسه فسفر محلول بیشتری درمقایسه با مزارع با نظام خاک‌ورزی مرسوم از دست دادند.

فسفر کیلوگرم در هکتار هر سال			مدیریت	موقعیت و خاک
فسفر کل	فسفر ذره‌ای	فسفر محلول		
۳/۷۲	۳/۵۱	۰/۲۱	گندم با شخم و دیسک مرسوم	سری ال‌رنو ^۱ اکلاهما پالتوستل
۱/۴۲	۰/۴۳	۱/۰۴	گندم با نظام نبود خاک‌ورزی	با ۳ درصد شیب
۰/۲۴	۰/۱	۰/۱۴	چمن بومی شدیداً چرا شده	
۵/۶۷	۵/۴۴	۰/۲۳	گندم با شخم پنجه‌غازی و دیسک مرسوم	سری ودوارد ^۲ اکلاهما استاکریت
۱/۱۹	۰/۷	۰/۴۹	گندم با نظام نبود خاک‌ورزی	با ۸ درصد شیب
۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۰۲	چمن بومی به‌طور متوسط چرا شده	

* - در گندم کود فسفره هر سال تا ۲۳ کیلوگرم در هکتار در پاییز مصرف شد.

^۱ - El Reno, Paleustolls
^۲ - Woodward ustochrepts

هدررفت فسفر در رواناب: مدیریت زراعی که شامل عملیات خاک‌ورزی زیر و رو کردن خاک است سبب افزایش فسفر همراه با رسوبات فرسایش یافته (فسفر ذره‌ای)^۱ گردیده درحالی‌که مدیریت زراعی با نظام نبود شخم و شیار سبب هدررفت بیشتر فسفر حل‌شده در رواناب (فسفر حل‌شده)^۲ می‌شود، این شیوه در جدول ۲-۱۴ با مقایسه هدررفت فسفر در نظام نبود خاک‌ورزی و نظام مرسوم کشت گندم می‌تواند مشاهده گردد.

تصمیم به استفاده از عملیات خاک‌ورزی برای مخلوط کردن مواد اصلاحی حاوی فسفر شامل مقایسه بین مزایای مخلوط کردن فسفر به داخل خاک (فسفر کمتری در رواناب حل شده و فسفر بیشتری برای جذب گیاه باقی می‌ماند) و ضررهای همراه به هم زدن خاک سطحی (هدررفت بیشتر ذرات خاک به وسیله فرسایش) (جدول ۲-۱۴) می‌باشد. در عملیات خاک‌ورزی بدون شخم مصرف سطحی کود دامی بدون مخلوط کردن آن ممکن است سبب هدررفت فسفر کل کمتری گردد. زیرا سبب کاهش قابل توجه فرسایش و رواناب کل خواهد شد، اثر این کاهش ممکن است از اثر افزایش غلظت فسفر در حجم نسبتاً کم رواناب فراتر باشد. اگر ادوات مناسب فراهم باشد بهترین روش مصرف در کودهای حاوی فسفر تزریق آن‌ها در داخل خاک با حداقل به هم زدن است.

به هم زدن پوشش طبیعی، مانند بریدن درختان و یا آتش سوزی سبب افزایش هدررفت فسفر عمدتاً در اثر رسوبات فرسایش یافته می‌شود. فرسایش سبب می‌گردد که عمدتاً بخش رس و مواد آلی خاک را که از نظر فسفر غنی هستند، انتقال یافته، و بخش‌های درشت تر با فسفر کمتر را به جای بگذارد. بنابراین، رسوبات فرسایش یافته در مقایسه با خاک اصلی از نظر غنی شدن فسفر دارای نسبت ۲:۱ و بیشتر می‌باشد (جدول ۳-۱۴). رواناب حاصل از پروار بندی‌ها و در مناطقی که صدها و یا حتی هزاران گاو، خوک و یا طیور نگهداری می‌شوند، منابع حاوی فسفر هستند که سبب غنی شدن می‌گردند. کود دامی حاصل از ده هزار راس گاو گوشتی دارای همان مقدار نیتروژن و فسفر است که در فضولات انسانی در یک شهر صدهزار نفری یافت می‌شود. درحالی‌که کود دامی زیادی در مزارع نزدیک ممکن است پخش شود، باران‌های شدید سبب هدررفت رواناب و فرسایش در این اراضی شده و مقادیر قابل توجهی از فسفر محلول و ذره‌ای را می‌تواند حمل کند. بیشتر این عنصر غذایی راه خود را در دریاچه‌ها و مخازن پیدا نموده و در آنجا سبب غنی گشتن می‌شوند. شکل ۵-۱۴ نشان‌دهنده مقدار زیاد فسفر در افق سطحی یک خاک با بهره‌برداری دامپروری پرنهاده نزدیک دریاچه اوکی‌چوبی^۳ در جنوب فلوریدا است. تشخیص حرکت فسفر از این منطقه و رودخانه‌های اطراف که دریاچه را تغذیه می‌کنند به آسانی قابل پیش‌بینی است.

جدول ۳-۱۴ اثر آتش سوزی جنگل بر هدررفت فسفر در سال بعد. در جنگل خاربوته در شمال غرب اسپانیا (محل دارای شیب تند با خاک لوم شنی کم عمق lithic Haplumbrepts با فسفر قابل استفاده نسبتاً بالا. توجه داشته باشید هرچه آتش سوزی شدیدتر باشد، میزان هدررفت خاک و فسفر همراه آن بیشتر بوده است. در تمام موارد نسبت غنی شدن کمی بیشتر از ۲ بوده و بیانگر آن است که نهشته‌های فرسایش یافته از کرت‌ها بیشتر از ۲ برابر فسفر موجود در خود خاک‌های سطحی اولیه غلظت داشته است. در این جا، همانند سایر موارد بخش‌های خاک غنی از فسفر حساس‌ترین به فرسایش می‌باشند. میزان هدررفت فسفر در این جنگل خاص بیشتر از هدررفت شاخص در جنگل‌های منطقه مرطوب در خاک‌ها با فسفر پایین می‌باشد.

تیمار	نهشته‌های فرسایش یافته (مگاگرم در هکتار)	کل فسفر از دست رفته (کیلوگرم در هکتار)	نسبت غنی شدن (ب)
جنگل سوزانده نشده، شاهد	۲	۱/۴	۲/۶
جنگل سوزانده شده متوسط با آتش سوزی عمدی	۵	۴/۳	۲/۱
جنگل شدیداً سوخته شده با آتش سوزی سرکش (طبیعی)	۱۳ (الف)	۹/۱	۲/۲

(الف) مقادیر در جنگل شدید سوخته شده برای ۱۰ ماه اندازه‌گیری شد درحالی‌که سایر کرت‌ها برای ۱۲ ماه

(ب) نسبت غنی شدن عبارتست از مقدار فسفر موجود در نهشته (برحسب میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک) تقسیم بر مقدار فسفر موجود در خاک mg/kg

به نظر می‌رسد تولید متمرکز محصولات دامی و همچنین آلودگی حاصل از توسعه‌ی شهری و صنعتی مسوول طغیان جلبکی *Pfiesteria* و دیگر جلبک‌های سطحی مشابه باشد که مسوول مرگ و میر هزاران ماهی در خلیج‌ها و رودخانه‌های دشت‌های ساحلی در شرق آمریکا می‌باشند.

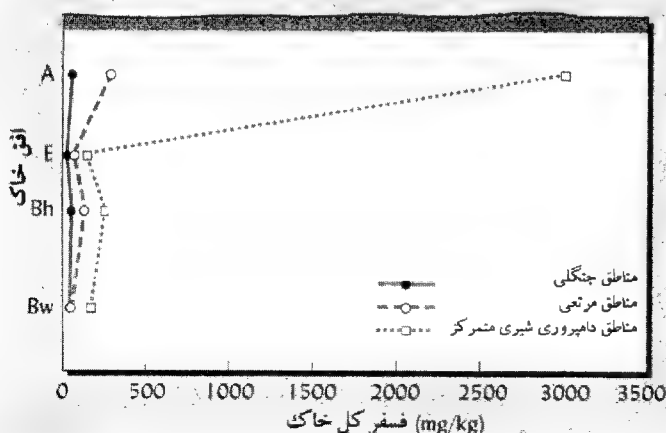
^۱ - Particulate

^۲ - Dissolved

^۳ - Okeechobee

اعتقاد بر این است که میزان فسفر زیاد در رودخانه‌ها سبب تحریک مراحل حیاتی *Pfiesteria* شود که سمی ۱۰۰۰ برابر مهلک‌تر از سیانید ایجاد می‌کند، به‌طوری‌که می‌تواند ماهی‌های کوچک را در عرض چند دقیقه، و ماهی‌های بزرگ را در عرض چند ساعت از بین ببرد. شمار انسان‌های مسموم تشخیص‌داده‌شده به‌وسیله‌ی *Pfiesteria* در مناطق آلوده فقط چند نفر بوده است. تلاش‌هایی برای کاهش حرکت فضولات حاوی عناصر غذایی از خاکداری‌ها و مرغداری‌ها در حال انجام است.

مثال‌های ارانه شده روشن می‌سازد که مهار آلودگی در بسیاری از رودخانه‌ها و دریاچه‌ها نیازمند مدیریت بهتر چرخه‌ی فسفر در خاک‌ها می‌باشد، به‌خصوص کاهش انتقال فسفر از خاک‌ها به آب حیاتی است.



شکل ۵-۱۴ متوسط کل فسفر خاک در اراضی با مدیریت متمرکز، و در اراضی مرعی مجاور و اراضی بومی (جنگلی) در سه مزرعه دامپروری شیری نزدیک دریاچه اوکی‌چوبی در جنوب ایالت فلوریدا. در اراضی با کاربرد متمرکز نزدیک اصطبل که ماده‌گاوها قبل از شیردوشی نگهداری می‌شوند، دارای فسفر فوق‌العاده زیاد می‌باشد. بعضی از این عناصر به طبقات پایین حرکت کرده‌اند. رواناب از این مناطق با تمرکز احشام در رودخانه‌ها و دریاچه‌های مجاور یک منبع عمده فسفر بوده که سبب تقویت غنی‌شدن می‌گردد.

۳-۱۴ چرخه‌ی فسفر

برای مدیریت فسفر در تولید محصولات به‌طور اقتصادی، و برای حفاظت محیط‌زیست مجبوریم اشکال مختلف فسفر موجود در خاک‌ها و چگونگی برهم‌کنش این اشکال فسفر خاک را در محیط بزرگ‌تر، درک کنیم، چرخه‌ی فسفر در داخل خاک، از خاک به‌داخل گیاهان عالی و برگشت آن به خاک در شکل ۶-۱۴ آمده است.

فسفر محلول خاک: غلظت فسفر درمقایسه با دیگر عناصر پرمصرف مانند گوگرد و کلسیم در داخل خاک بسیار پایین و از ۰/۰۰۱ میلی‌گرم در لیتر در خاک‌های خیلی فقیر تا ۱ گرم در خاک‌های غنی با مصرف زیاد کود متغیر می‌باشد. ریشه‌ی گیاهان فسفر محلول در خاک را عمدتاً به‌صورت یون‌های فسفات ($\text{H}_2\text{PO}_4^{-1}$ ، HPO_4^{-2}) جذب می‌کنند، گرچه بعضی از ترکیبات آلی فسفر را نیز جذب می‌کنند. گونه‌های شیمیایی فسفر در محلول خاک به‌وسیله‌ی pH محلول، همان‌طور که شکل ۶-۱۴ نشان داده است مشخص می‌شوند. آنیون $\text{H}_2\text{PO}_4^{-1}$ در خاک‌های خیلی اسیدی (pH = ۴-۵/۵) گونه‌ی غالب بوده، در حالی‌که در محلول‌های قلیایی یون دوفسفات HPO_4^{-2} غلبه می‌یابد. یون PO_4^{-3} از pH ۱۰ شروع به ظاهرشدن نموده و در pH ۱۴ به حداکثر خود می‌رسد (شکل ۶-۱۴). دو آنیون $\text{H}_2\text{PO}_4^{-1}$ و HPO_4^{-2} بیشتر برای گیاهان قابل‌استفاده باشد، اما اثرات pH بر واکنش فسفر با سایر اجزا خاک بسیار مهم‌تر از آنیون موجود محلول در خاک است.

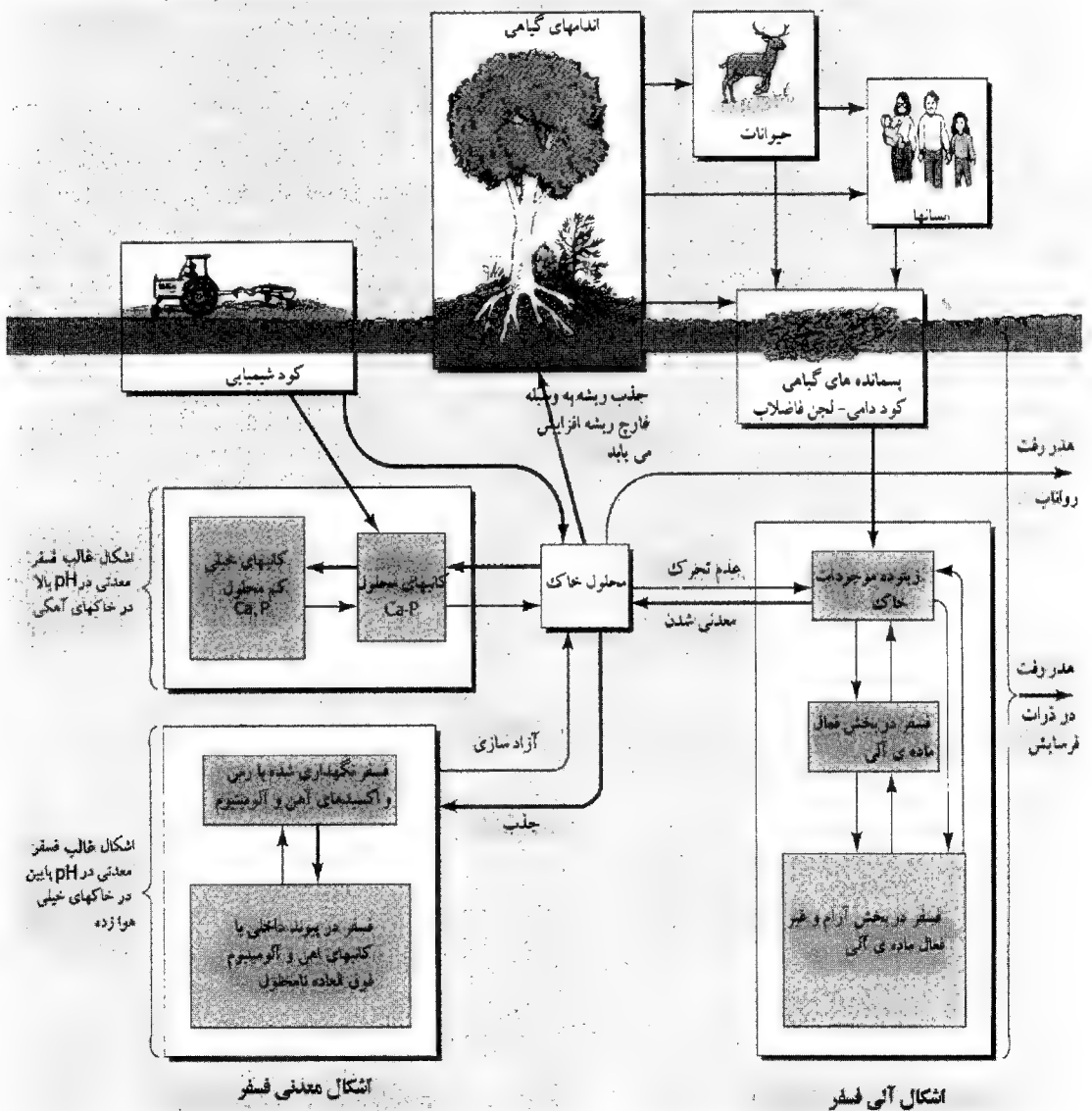
جذب فسفر به‌وسیله‌ی ریشه‌ها و قارچ ریشه^۱: جذب فسفر به‌وسیله‌ی ریشه‌ی گیاهان نه‌تنها نیازمند انحلال یون‌های فسفر در محلول خاک است، بلکه نیازمند حرکت از حجم خاک به سطح ریشه‌ها نیز می‌باشد (شکل ۸-۱۴). این حرکت معمولاً در فاصله فقط چند میلی‌متر تا یک سانتی‌متر طی انتشار فیزیکی (فصل ۱۶-۱) صورت می‌گیرد، هرچند چون یون فسفات شدیداً جذب ذرات خاک شده است، انتشار آن به ریشه چنان آهسته است که قابلیت استفاده فسفر را برای ثبات دچار محدودیت می‌کند. ریشه‌های موئین، که در خاک توسعه می‌یابند، فاصله انتشار یون‌های فسفر را قبل از جذب کوتاه می‌کنند.

توجه نمایید که شکل ۸-۱۴ نشان می‌دهد، علاوه بر جذب مستقیم فسفر از محلول خاک به‌وسیله‌ی گیاه راه دیگری نیز در بسیاری از گیاهان برای جذب فسفر وجود دارد و آن همزیستی با قارچ- ریشه است (بخش ۹-۱۱). در خاک‌های دارای فسفر قابل‌استفاده پایین، بسیاری از گونه‌های گیاهی بدون همکاری قارچ- ریشه در به‌دست‌آوردن فسفر به‌ندرت می‌توانند زنده بمانند. ریشه‌های ذره‌بینی نخ‌مانند قارچ- ریشه،

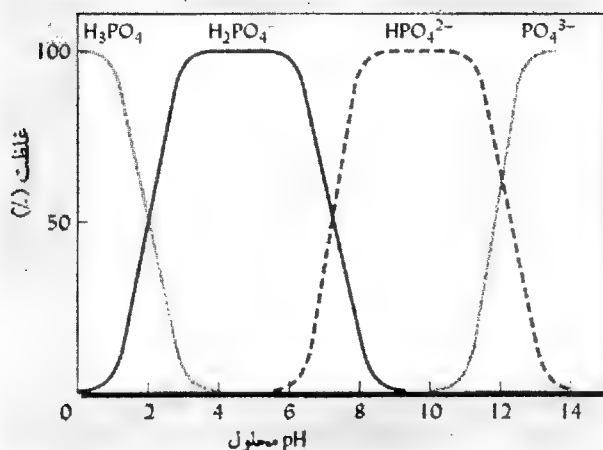
^۱ -Mycorrhizae

از داخل ریشه‌ی نبات چندین سانتی متر به داخل خاک انتشار می‌یابند. ریشه‌ی قارچ‌ها قادرند که به‌محض ورود یون فسفر به داخل خاک آن‌ها را جذب کرده، و حتی ممکن است به بعضی از اشکال فسفر محبوس شده نیز دسترسی یابند. ریشه‌ی قارچ سپس فسفات را با انتقال از داخل یاخته‌های خود که در آن‌جا سازوکار جذب فسفر به‌وسیله‌ی خاک نمی‌تواند در انتقال فسفات دخالت کند، به سطح ریشه‌ی نبات می‌رساند (شکل ۸-۱۴).

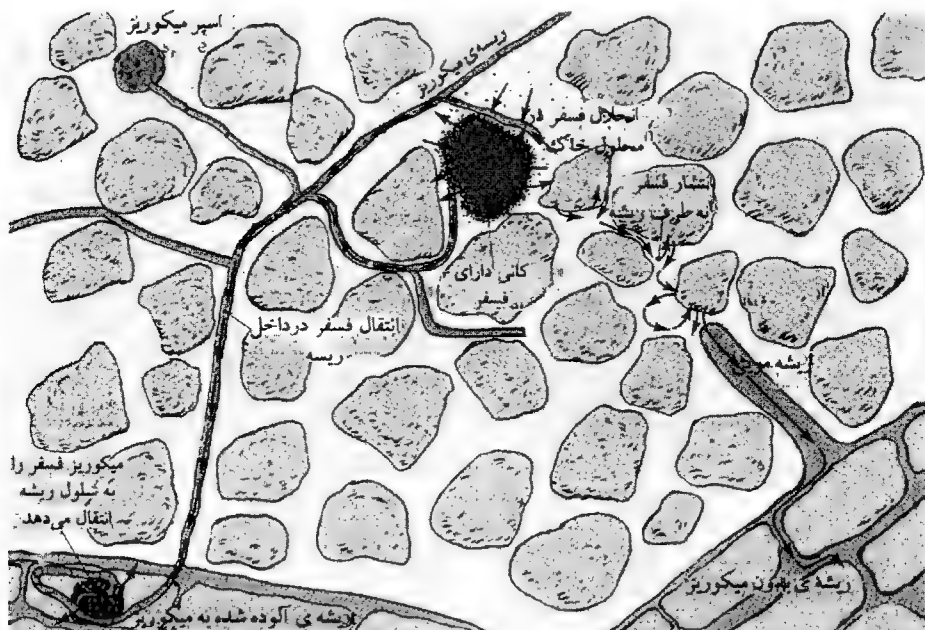
زمانی که بخشی از فسفر به‌داخل گیاهان راه یابد در آن‌جا به بخشی از اندام گیاهی تبدیل می‌شود. وقتی برگ گیاهان ریزش کرده و ریشه‌ها می‌میرند، و یا به‌وسیله‌ی انسان‌ها و حیوانات خورده می‌شوند، فسفر به‌صورت پس‌مانده‌های گیاهی، لاشیرو و فضولات انسانی و حیوانی به خاک بر می‌گردد. ریزجانداران پس‌مانده‌های گیاهی را تجزیه کرده و موقتاً بخشی از فسفر را در یاخته‌های خود نگاه می‌دارند. بخشی دیگر از فسفر در مشارکت با بخش‌های فعال و غیرفعال ماده‌ی آلی قرار گرفته (بخش ۸-۱۲) و در آن‌جا ذخیره شده و یا در آینده آزاد خواهد شد. این اشکال آلی فسفر با کندی بسیار تبدیل به اشکال محلول گردیده و با جذب آن‌ها به‌وسیله‌ی ریشه‌ی گیاهان چرخه‌ی فسفر تداوم می‌یابد.



شکل ۶-۱۴ چرخه‌ی فسفر در خاک: چهارضلعی‌ها بیانگر اشکال مختلف فسفر در چرخه‌اند. درحالی‌که پیکان‌ها بیانگر تغییرمحل و تغییر شکل دربین این چهارضلعی‌ها می‌باشند. سه چهارضلعی بزرگ‌تر در شکل مشخص‌کننده گروه‌های اصلی ترکیبات دارای فسفراند که در خاک‌ها یافت می‌شوند. در داخل هر یک از این سه چهارضلعی، اشکال با کمترین محلولیت و کمترین قابلیت استفاده تمایل دارند که شکل غالب باشند.



شکل ۷-۱۴ اثر pH بر روی غلظت نسبی سه گونه‌ی یون فسفات. در مقادیر pH کم یون H^+ بیشتری در محلول وجود داشته، و بنابراین یون‌های فسفات دارای هیدروژن بیشتر غالب می‌باشند. در خاک‌های نزدیک خشتی، یون‌های $H_2PO_4^-$ و HPO_4^{2-} در مقادیر نسبتاً مساوی یافت می‌شوند. هر دو این یون‌ها به آسانی قابل جذب گیاهان می‌باشند.



شکل ۸-۱۴ نقش انتشار و ریشه فارچ-ریشه در حرکت یون‌های فسفات به ریشه گیاهان در خاک‌ها با غلظت فسفر محلول پایین و میزان تثبیت فسفر بالا، ممکن است انتشار آهسته توانایی ریشه‌ها را برای کسب فسفر کافی به شدت محدود کند. ریشه فارچ-ریشه‌های همزیست هنگامی که انتشار فسفر آهسته باشد برای نبات سودمند است، چون فسفر در داخل ریشه به وسیله‌ی جویبار سیتوپلاسم انتقال می‌یابد، و گیاهان را بسیار کمتر به انتشار یون‌های فسفر در داخل خاک وابسته می‌کند.

اشکال شیمیایی فسفر در خاک: در اکثر خاک‌ها مقدار فسفر قابل استفاده برای نبات در محلول خاک در آن واحد بسیار پایین بوده و به‌ندرت از ۰/۱ درصد کل فسفر خاک تجاوز می‌کند. کل فسفر در خاک در سه گروه ترکیبات عمومی یافت می‌شوند که عبارتند از فسفر آلی، فسفر معدنی در پیوند با کلسیم و فسفر معدنی در پیوند با آهن و آلومینیوم (شکل ۶-۱۴). از فسفر معدنی، ترکیبات کلسیم در اکثر خاک‌های قلیایی غالب بوده، در صورتی که ترکیبات آهن و آلومینیوم در خاک‌های اسیدی خیلی مهم می‌باشند هر سه گروه از ترکیبات به آهستگی فسفر را به محلول خاک وارد می‌کنند اما اکثر فسفر موجود در هر گروه دارای قابلیت انحلال بسیار پایین بوده و برای جذب نبات قابل استفاده نمی‌باشند.

برخلاف نیتروژن و گوگرد، فسفر به شکل گازی در خاک از دست نمی‌رود زیرا اشکال آلی فسفر به شدت جذب سطوح کانی‌ها شده است (فصل ۶-۱۴). فسفر قابل توجهی نیز به وسیله‌ی آبشویی از خاک خارج نمی‌شود (به استثناء بعضی از خاک‌های آلی و یا خاک‌هایی که مقادیر زیادی کود دامی در آن‌ها مصرف شده است).

دست آورد و هدررفت: مسیرهای اصلی که فسفر در نظام خاک از دست می رود عبارتند از: جذب گیاهی (۵ تا ۵۰ کیلوگرم سالانه در هکتار به وسیلهی زیاده برداشت می شود)، فرسایش ذرات خاک حامل فسفر (۱۰ تا ۱۰۰ کیلوگرم سالانه در هکتار بر روی ذرات آلی و معدنی)، و فسفر حل شده در رواناب سطحی (۱ تا ۳ کیلوگرم سالانه). در هر مسیر، عدد بالاتر هدررفت سالانه فسفر احتمالاً برای خاکهای تحت کشت و کار مصداق دارد. مقدار فسفوری که از نیوار وارد خاک می شود (جذب شده بر روی ذرات گردوغبار) کاملاً پایین است (۰/۵ تا ۰/۵ کیلوگرم در هکتار در سال) اما ممکن است تقریباً هدررفت فسفر خاک را در بوم سامان جنگلی و مرتعی جبران کند. همان طور که قبلاً بحث گردید، به نظر می رسد در یک بوم سامان کشاورزی میزان فسفر ورودی حاصل از کودهای شیمیایی از خروجی فسفر در محصول برداشت شده بیشتر باشد. شکل ۴-۱۴ نمونه های از تعادل ورودی و خروجی فسفر را در دو حوزه مجاور ارایه می دهد. یکی از این حوزه ها عمدتاً به تولید محصولات زراعی اختصاص یافته و دیگری تحت پوشش جنگل خزان کننده بالغ می باشد.

۴-۱۴ فسفر آلی خاک

هر دو شکل فسفر آلی و فسفر معدنی در خاک وجود داشته و به عنوان منابع این عنصر برای نبات مهم می باشند. مقدار نسبی این دو شکل فسفر، خاک به خاک متفاوت می باشد، اما اطلاعات در جدول ۴-۱۴ ارزیابی چندی از مقدار نسبی آن ها در تعدادی از خاک های معدنی ارائه می دهند. بخش آلی معمولاً ۸۰-۲۰ درصد فسفر کل در افق های سطحی خاک ها را تشکیل می دهد (شکل ۹-۱۴). ممکن است افق های عمیق تر دارای مقادیر زیادتری از فسفر معدنی به خصوص در اقلیم خشک تا نیمه خشک باشند.

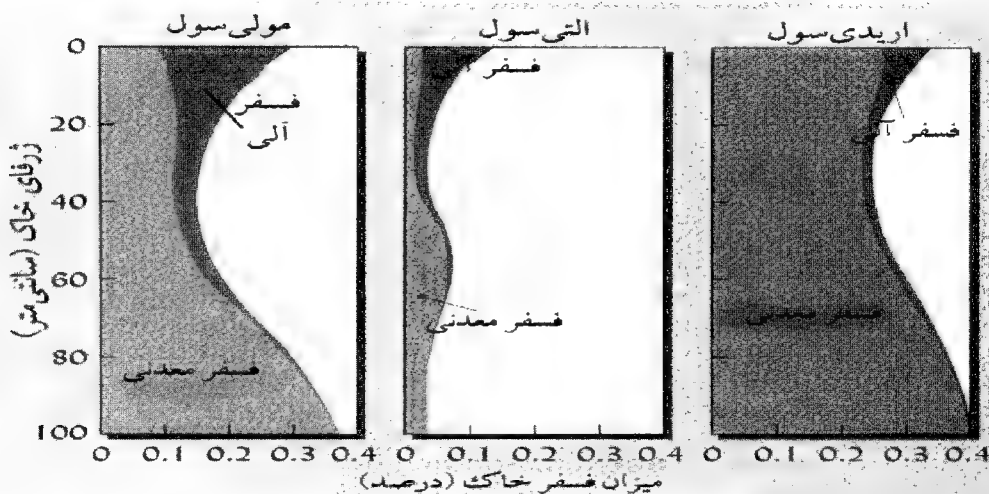
جدول ۴-۱۴ میزان کل فسفر در خاک های سطحی مناطق مختلف و درصدی از فسفر کل در شکل فسفر آلی

خاک ها	تعداد نمونه	فسفر کل mg/kg	درصد بخش آلی
<u>اورگن شرقی</u>	۴	۳۵۷	۶۴
خاک های واقع در دره های قدیمی	۴	۱۴۷۹	۳۰
خاک های واقع در دره های جدید	۳	۸۴۸	۲۶
<u>نیویورک</u>	۸	۱۴۹۱	۵۲
<u>ایوا</u>	۶	۵۶۱	۴۴
<u>آریزونا</u>	۱۹	۷۰۳	۳۶
<u>استرالیا</u>	۳	۴۲۲	۷۵
<u>تگزاس</u>	۲	۳۶۹	۳۴
<u>هاوایی</u>	۱	۴۷۰۰	۳۷
اکسی سول	۱	۱۴۱۴	۱۹
<u>زمبابوه</u>	۲۲	۸۹۹	۵۶
<u>مربلند</u>	۶	۶۵۰	۵۹
التی سول (لوم شنی)	۳	۴۷۲	۷۰
التی سول (لوم شنی جنگلی)	۴	۶۴۷	۲۵
التی سول (لوم شنی زراعت)			

ترکیبات فسفر آلی

تا این اواخر دانشمندان توجه بیشتری به فسفر معدنی در مقایسه با فسفر آلی مبذول می کردند. دانش ما در مورد سرشت خاص اکثر فسفر در پیوند آلی کاملاً محدود است. گرچه سه گروه بزرگ از ترکیبات فسفر آلی شناخته شده در خاک ها یافت می شوند، تمام این سه نوع مادهی آلی فسفردار نیز در گیاهان وجود دارند. عقیده بر این است که اکثر ترکیبات فسفر آلی در خاک ها به وسیلهی ریز جانداران بازسازی می شود، این

سه گروه عبارتند از (۱) فسفات اینوستول و یا فسفات استر، ترکیبات قندمانند یا اینوستول ($C_6H_6(OH)_6$) (۲) اسیدنوکلوئیک و (۳) فسفولپیدها. گرچه ترکیبات دیگری نیز وجود دارند، اما، ترکیب و مقدار موجود آن‌ها کمتر شناخته شده است.



شکل ۹-۱۴ میزان فسفر موجود در خاک‌رخ معروف سه راستی خاک که دارای نسبت بزرگی از فسفر آلی در افق‌های سطحی خود می‌باشند. رده‌ی اریدی‌سول دارای فسفر معدنی زیادی در سرتاسر خاک‌رخ خود می‌باشد، زیرا بارندگی در طول تشکیل خاک برای آیشویی بیشتر ترکیبات معدنی فسفر از خاک کافی نبوده است. میزان فسفر افزایش یافته در خاک تحت‌الارضی رده‌ی آلی‌سول، به دلیل جذب فسفر آلی به وسیله‌ی اکسیدهای آلومینوم در افق B می‌باشد. در هر دو رده‌ی مولی‌سول و اریدی‌سول، بیشتر فسفر خاک تحت‌الارضی در شکل ترکیبات معدنی فسفات کلسیم قرار دارند.

فسفات‌های اینوستول فراوان‌ترین ترکیبات فسفر آلی شناخته شده می‌باشند که ۱۰ تا ۵۰ درصد فسفر آلی کل را تشکیل می‌دهند، آن‌ها تمایل دارند که در شرایط اسیدی و قلیایی کاملاً پایدار بوده و با ترکیبات اسید هومیک با وزن مولکولی بیشتر در تعامل باشند. ممکن است این خصوصیات دلیل میزان فراوانی نسبی آن‌ها در خاک‌ها باشد.

اسیدهای نوکلئیک به وسیله‌ی ترکیبات هموسی و همچنین رس‌های سیلیکاتی جذب می‌شوند. جذب بر روی این کلویدهای خاک احتمالاً فسفر موجود در اسیدهای نوکلئیک را از حمله میکروبی محافظت می‌کند. اسیدهای نوکلئیک و فسفولپیدها با هم احتمالاً فقط ۱ تا ۲ درصد فسفر آلی را در خاک‌ها تشکیل می‌دهند.

سایر ترکیبات شیمیایی که اکثر فسفر آلی خاک را شامل می‌باشند، هنوز شناخته نشده‌اند. اما به نظر می‌رسد بیشتر فسفر آلی با بخش اسیدفولیک ماده‌ی آلی خاک همراه باشد. بی‌خبری و غفلت ما از ترکیبات خاص موجود، از اهمیت این ترکیبات به عنوان تأمین‌کنندگان فسفر از طریق تجزیه میکروبی نمی‌کاهد.

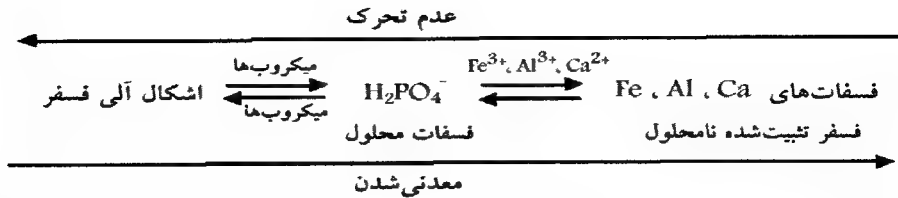
اکثر فسفر در محلول خاک و در شیرابه‌های حاصل از مناطقی که مقادیر زیادی فضولات حیوانی دریافت داشته‌اند به صورت فسفر آلی محلول (DOP)^۱ می‌باشد. DOP معمولاً نسبت به فسفر معدنی محلول بیشتر متحرک می‌باشد، علت احتمالی، عدم جذب آسان آن به وسیله‌ی رس‌های آلی و لایه‌های کربنات کلسیم خاک می‌باشد. در افق‌های زیرین این خاک‌ها DOP معمولاً بیش از ۵۰ درصد فسفر کل محلول خاک را تشکیل می‌دهد. در نتیجه در مناطق با مصرف سنگین کود دامی با خاک‌های شنی DOP می‌تواند تا حدود ۲ متر به طرف پایین حرکت کند (شکل ۱۰-۱۴). در مزارع با سطح آب زیرزمینی بالا، فسفر می‌تواند از طریق آب زیرزمینی به دریاچه‌ها و یا رودخانه‌های نزدیک حرکت کرده و سبب ایجاد غنی‌شدن قابل توجه گردد.

معدنی‌شدن فسفر آلی: فسفر نگهداری‌شده در شکل آلی می‌تواند به وسیله‌ی همان فرایند عمومی که سبب آزادشدن نیتروژن و گوگرد از ماده‌ی آلی می‌گردند معدنی شده^۲ و یا از تحرک^۳ بازماند. (فصل ۱۳ را مشاهده کنید).

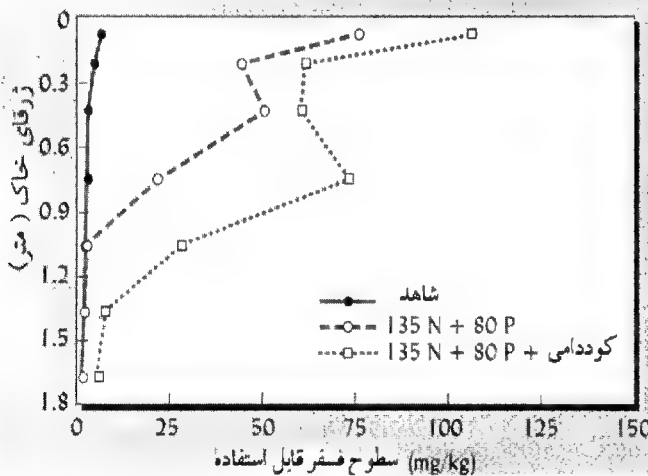
^۱-Dissolved organic phosphorus

^۲-Mineralization

^۳-Immobilization



هنگامی که بقایای آلی و هموس تجزیه می‌شوند ترکیبات فسفر محلول آزاد می‌گردند. این فسفات معدنی محلول به‌دست آمده (H_2PO_4^-) در معرض جذب به‌وسیله ی نباتات^۱ و یا تثبیت در اشکال غیرمحلول بر اثر واکنش با آهن، آلومینیوم و منگنز و کلسیم خاک قرار می‌گیرد. در صورت اضافه‌شدن بقایای آلی حاوی فسفر کم اما دارای کربن و سایر عناصر به‌مقدار زیاد به خاک، میکروب‌ها فعالیت خود را افزایش داده و فسفر را به‌صورت جزئی از زیئودهی^۲ خود از تحرک باز می‌دارند، این H_2PO_4^- قابل استفاده در محلول خاک همانند یون‌های NO_3^- ، SO_4^{2-} ، NH_4^+ ، به‌طور موقتی ناپدید می‌شود (بخش ۴-۱۳ و بخش ۲۰-۱۳). خالص عدم تحرک فسفر محلول خاک وقتی بقایای اضافه‌شده به خاک دارای نسبت C/P بزرگ‌تر از $^{۳۰۰}/۱$ باشد به احتمال زیاد صورت می‌پذیرد، در صورتی که خالص معدنی‌شدن در نسبت کمتر از $^{۲۰۰}/۱$ انجام شود. وقتی شرایط چنان باشد که ماده‌ی آلی در یک خاک افزایش یابد (برای نمونه پس از تبدیل اراضی زراعی به مرتع، گندمیان- نیام‌داران) فسفر آلی تمایل به تراکم پیدا می‌کند، اگر فسفر معدنی به این خاک اضافه شود بیشتر فسفر افزوده‌شده نهایتاً پس از جذب به‌وسیله نباتات و یا ریزجانداران در بخش آلی ذخیره می‌گردد. نسبت C/P در ماده‌ی آلی بسیار متغیر دامنه‌ی آن از $^{۱۵}/۱$ تا $^{۷۵}/۱$ می‌باشد، این متغیر بودن با نسبت‌های تقریباً ثابت C/N و C/S که از خصوصیات خاک است، در تعارض بوده و از این واقعیت ناشی می‌شود که میزان معدنی‌شدن و عدم تحرک فسفر همیشه به‌موازات این فرایندها در N و S نیست.



شکل ۱۰-۱۴ تأثیر اضافه‌کردن کود شیمیایی با و یا بدون مصرف کود گاو برای مدت ۴۲ سال بر روی میزان فسفر قابل‌استفاده در اعماق مختلف خاک مولی‌سول در نیراسکا که در آن ذرت به‌طور مداوم کشت شده است. هر دو تیمار سبب افزایش میزان فسفر قابل‌استفاده در لایه‌های فوقانی شدند، اما فقط وقتی کود دامی اضافه شد، افزایش تا زیر ۱ متر رسید. اشکال آلی فسفر در کورت با کود دامی ظاهراً به‌وسیله ی خاک جذب نشد، بنابراین سبب انتشار عمیق‌تر فسفر گردید که ممکن است در معرض حرکت از طریق آب زیر زمینی به آبراهه‌های مجاور گردد.

نقش فسفر آلی و تأمین نیازهای نبات

شواهد جدید بر آن دلالت دارند که بخش‌های آماده تجزیه، و یا با قابلیت انحلال آسان فسفر آلی خاک، اغلب مهم‌ترین عامل در تأمین فسفر به گیاهان در خاک‌های خیلی هوازده (مانند التی‌سول و اکسی‌سول) می‌باشند، هرچند ممکن است میزان ماده‌ی آلی کل در این خاک‌ها بالا نباشد. فسفر معدنی در خاک‌های خیلی هوازده چنان نامحلول است که نمی‌تواند نقشی در تغذیه‌ی نبات داشته باشد. ظاهراً ریشه‌ی گیاهان و ریشه‌ی قارچ‌ها قادرند مقداری فسفر آزاد شده از اشکال آلی را قبل از این که تشکیل اشکال غیرآلی داده و نامحلول گردند جذب کنند، برعکس، به‌نظر می‌رسد که اشکال محلول‌تر فسفر معدنی بزرگ‌ترین نقش را در حاصلخیزی خاک‌های کمتر هوازده (مولی‌سول‌ها و ورتی‌سول‌ها) داشته باشند، گرچه این خاک‌ها از مقادیر نسبتاً زیادی ماده‌ی آلی برخوردار می‌باشند.

معدنی‌شدن فسفر آلی در خاک تحت تأثیر بسیاری از همان عوامل که تجزیه‌ی عمومی ماده‌ی آلی خاک را کنترل می‌کنند (بخش ۱۳-۱۲). مانند دما، رطوبت، عملیات خاک‌ورزی و غیره، می‌باشند. در مناطق معتدل، معدنی‌شدن فسفر آلی در خاک‌ها به‌طور شاخص سالانه ۵ تا ۲۰

^۱- گرچه گیاهان می‌توانند بعضی از ترکیبات آلی فسفر را مستقیماً جذب کنند به‌نظر می‌رسد میزان این جذب در مقایسه با فسفات‌های معدنی بسیار پایین باشد.

کیلوگرم فسفر در هکتار آزاد می‌کند که اکثر آن به‌وسیله گیاهان درحال رشد جذب می‌شود. این مقادیر می‌تواند با جذب سالانه‌ی فسفر به‌وسیله اکثر گیاهان زراعی، درختان و علف‌ها که معمولاً ۵ تا ۳۰ کیلوگرم در هکتار است مورد مقایسه قرار گیرد. ممکن است میزان معدنی‌شدن در خاک‌های جنگلی اقلیم گرمسیری که برای اولین بار زیر کشاورزی برده می‌شوند از ۵۰ کیلوگرم در هکتار در سال تجاوز کند. اما در صورت اضافه‌شدن فسفر از منابع خارجی، این نرخ بالای معدنی‌شدن به‌خاطر تخلیه‌ی ماده‌ی آلی قابل تجزیه آسان خاک به‌زودی کاهش می‌یابد. در خاک‌های هیستوسول زه‌کشی شده (Saprists) برای استفاده کشاورزی در فلوریدا با معدنی‌شدن سریع ماده‌ی آلی برآورد می‌شود که فسفر آزاد شده حدود ۸۰ کیلوگرم در هکتار سالانه باشد. برخلاف اکثر خاک‌های معدنی این خاک‌های آلی دارای ظرفیت کسی برای نگهداری فسفر محلول می‌باشد، بنابراین، زهاب آن‌ها دارای تجمع فسفر بوده (۰/۵ تا ۱/۵ میلی گرم فسفر در لیتر)، و به‌نظر می‌رسد در تخریب نظام اراضی باتلاقی Everglades مؤثر باشد.

۵-۱۴ فسفر معدنی در خاک‌ها

در بین تمام عناصر غذایی پرمصرف موجود در خاک، فسفر دارای کوچک‌ترین مقدار در محلول و یا در اشکال نسبتاً قابل حل می‌باشند. به‌همین ترتیب، عدم تحرک نسبی فسفر معدنی در خاک‌های معدنی شناخته شده است. دو پدیده غلظت فسفر را در محلول خاک و حرکت فسفر را در داخل خاک اداره می‌کنند که عبارتند از: (۱) حلالیت کانی‌های دارای فسفر و (۲) تثبیت و یا جذب بین‌های فسفات بر روی سطح ذرات خاک. درعمل، تفکیک تأثیر این دو نوع واکنش، ویا حتی تعیین سرشت اصلی این ترکیبات معدنی فسفر موجود در خاک، مشکل است. تثبیت و نگهداری^۱ بین‌های فسفات محلول در خاک‌های معدنی در معرض بسیاری از واکنش‌ها قرار دارند که تمایل دارند بین‌های فسفر را از محلول خاک جدا کرده و ترکیبات حاوی فسفر را با حلالیت بسیار پایین تولید کنند. به این واکنش‌ها به‌طور کلی اصطلاح تثبیت فسفر و یا نگهداری فسفر اطلاق می‌شود. نگهداری فسفر اصطلاح کلی‌تر بوده و واکنش‌های ته‌نشینی و تثبیت را شامل می‌باشد.

تمایل خاک‌ها برای تثبیت فسفر در اشکال غیرمحلول، غیرقابل استفاده نهایتاً به پیامدهایی مهم در مدیریت فسفر منتهی خواهد شد. برای نمونه اگر تثبیت فسفر سبب شود نبات از تمام فسفر به‌استثنای بخش کوچکی از فسفر کود شیمیایی استفاده نکنند به‌صورت یک مشکل در پیش رو خواهد بود از طرف دیگر تثبیت فسفر اگر بتواند سبب شود اکثر فسفر حل شده در پساب‌های غنی از فسفر استعمال شده در خاک جدا شوند، به‌صورت یک مزیت مورد نظر قرار خواهد گرفت (تابلو ۲-۱۴). واکنش‌های تثبیت دخیل در هر دو موقعیت که در قابلیت استفاده فسفر در شرایط اسیدی و قلیایی کاربرد دارد، مورد بحث قرار خواهد گرفت، ابتدا با تشریح ترکیبات متفاوت معدنی و حلالیت آن‌ها آغاز می‌کنیم.

ترکیبات فسفر معدنی

همان‌طورکه در شکل ۶-۱۴ مشخص گردیده است، اکثر ترکیبات فسفر معدنی در خاک در یکی از دو گروه زیر قرار می‌گیرند: (۱) ترکیباتی که دارای کلسیم می‌باشند (۲) ترکیباتی که دارای آهن و آلومینیوم (و به‌میزان کمتر منگنز) می‌باشند.

ترکیبات فسفات کلسیم با کاهش pH خاک بیشتر قابل حل می‌شوند و بنابراین تمایل دارند که در خاک‌های اسیدی ناپدید گردند. از طرف دیگر، ترکیبات فسفات کلسیم در pH بالا کاملاً پایدار و بسیار غیرقابل حل بوده و بنابراین شکل غالب فسفر معدنی را در خاک‌ها خنثی و قلیایی تشکیل می‌دهند.

در بین ترکیبات کلسیم دارای فسفر (جدول ۵-۱۴) کانی آپاتیت^۲ دارای کمترین حلالیت، و بنابراین، کمترین فسفر قابل استفاده نبات می‌باشد. بعضی از کانی‌های آپاتیت برای نمونه فلوراپاتیت^۳، چنان غیرمحلول می‌باشد که حتی در خاک‌های خیلی هوادیده (اسیدی) حضور دارند. فسفات‌های ساده‌تر مانند دی‌کلسیم فسفات ($\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) و مونوکلسیم فسفات ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) به آسانی جذب نبات می‌شوند. این ترکیبات، به‌استثنای خاک‌های جدیداً کودخورده، در مقادیر بسیار اندکی وجود دارند زیرا به آسانی به اشکال بیشتر غیرقابل حل تبدیل می‌گردند.

برخلاف فسفات کلسیم، کانی‌های فسفات آلومینیوم و آهن، استرنجیت ($\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) و وارسیت ($\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) در خاک‌های خیلی اسیدی دارای قابلیت انحلال بسیار پایین می‌باشد و با بالا آمدن pH بیشتر قابل حل می‌گردند. این کانی‌ها بنابراین در خاک‌های قلیایی کاملاً ناپایدار، اما در خاک‌های اسیدی، که کاملاً نامحلول و پایدار می‌باشند، به وفور وجود دارند.

^۱ - Fixation and Retention

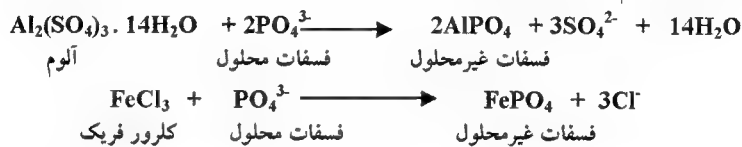
^۲ -Apatite

^۳ -Fluorapatite

سایر ترکیبات که فسفر را با آهن، آلومینیوم و یا منگنز در پیوند قرار می‌دهند در خاک‌های اسیدی یافت می‌شوند. بعضی حاصل واکنش سطحی بین یون فسفات و پلی‌مرهای هیدراکسی نسبتاً بی‌شکل می‌باشند که اغلب به‌صورت پوشش روی ذرات خاک وجود دارند. شواهد نشان می‌دهند که یون فسفات حتی با آلومینیوم نزدیک لبه بلورهای رس سیلیکاتی واکنش انجام داده و محصولاتی غیر قابل حل، همانند فسفات‌های آلومینیوم ایجاد می‌کنند که در فراز پیشین تشریح گردید.

تابلو ۲-۱۴ جدا کردن فسفر از پساب‌ها

متخصصین و مهندسين خاکشناسی و محیط زیست فسفر را از پساب‌های شهری با استفاده از بعضی از واکنش‌ها که سبب تثبیت فسفر در خاک می‌شود، جدا می‌کنند. بعد از عملیات اصلاحی اولیه و ثانویه فاضلاب که سبب جدا شدن مواد جامد و اکسایش بخش اعظم ساده‌ی آلی می‌شود، عملیات تصفیه مرحله سوم در مخازن عظیم، که به‌طور خاص طراحی شده‌اند (شکل ۱۱-۱۴) سبب ته‌نشینی فسفر بر اثر واکنش‌های با ترکیبات آهن و آلومینیوم مطابق زیر می‌شود:



فسفات‌های آهن و آلومینیوم غیر محلول در محلول ته‌نشین شده، و بعداً با سایر مواد جامد در پساب فاضلاب مخلوط و تشکیل مواد جامد فاضلاب را می‌دهند. آب حاوی فسفر پس از اندک تصفیه به رودخانه باز می‌گردد.



شکل ۱۱-۱۴ کارگاه‌های نوین تصفیه فاضلاب، برای انجام تصفیه مرحله سوم برای جداسازی فسفر مورد نیاز است. واکنش‌های شیمیایی که سبب تصفیه فاضلاب می‌شود، مشابه فرایندهایی می‌باشند که در قابلیت استفاده فسفر مؤثر است.

سایر روش‌های کم‌هزینه‌تر مرحله سوم تصفیه فاضلاب شامل پخش پساب روی خاک‌های دارای پوشش گیاهی است. فرایندهای طبیعی خاک و گیاه سبب پاکسازی فسفر و سایر اجزاء از پساب خواهد شد. در بعضی سامانه‌های نفوذ آب، آب از خاک‌های نسبتاً تراوا، فرونشست پیدا می‌کند. سایر سامانه‌ها که سامانه‌های جریان سطحی نام دارند، از خاک‌هایی با بافت ریزتر و نفوذپذیری کمتر استفاده می‌کنند. پساب بر روی آن‌ها به آرامی جریان داشته و امکان جداسازی اکثر فسفر محلول و سایر آلاینده‌ها به وسیله چند سانتی‌متر خاک سطحی فراهم می‌شود. در هر دو سامانه از ظرفیت تثبیت فسفر خاک‌ها استفاده می‌شود (شکل ۸-۱۴ را مشاهده کنید).

همان‌طور که مثال زیر تشریح می‌کند، شناخت خصوصیات و فرایندهای خاک برای طراحی مؤثر نظام‌های تصفیه فاضلاب وابسته به اراضی لازم است. یک مؤسسه بزرگ مهندسی محیط‌زیست برنده قراردادی برای ایجاد امکانات نوع نوین تصفیه فاضلاب گردید که بیشتر شبیه یک بوستان است تا کارگاه تصفیه فاضلاب، زیرا از اراضی باتلاقی و خاک‌های مصنوعی ساخته شده برای پاکسازی پساب بهره می‌برد. پس از جریان پساب از داخل تعدادی از مرداب‌های مصنوعی و نظام‌های تصفیه (شکل ۱۲-۱۴ الف)، پساب به‌داخل یک مزرعه بزرگ، دارای

لایه‌ای از خاک نفوذپذیر مصنوعی به عمق چندین متر به صورت بارانی پخش می‌شد (شکل ۱۲-۱۴). انتظار بر این بود که فسفر با عبور از داخل خاک، تثبیت شده و غلظت آب زیرزمینی از نظر این عنصر چنان پایین بیاید که بتوان آنرا در یک شارگاه نزدیک محل وارد کرد. متأسفانه سامانه کار نکرد. آبی که از زیر خاکرخ مصنوعی خارج می‌شد، از نظر فسفر غنی‌تر از قبل از تصفیه بود. مسأله چه بود؟ طرح‌دهندگان به جای خاک معدنی، پیت (دارای کلویدهای معدنی کم) را برای خاک مصنوعی پیشنهاد کرده بودند که آب از داخل آن فرونشست یابد. در نتیجه، ترکیبات آهن، آلومینیوم و کلسیم ناکافی برای تثبیت فسفر وجود داشت. خاک‌شناسان که برای یاری به شهرداری دعوت شده بودند، مسأله را تشخیص داده و توصیه کردند چند قطار بار پشم و خاک آهن (آهن فلزی) در داخل پیت مخلوط شود. با اکسایش پشم آهن (اکسیده شده) آهن سه ظرفیتی تشکیل و با فسفر محلول پساب به طور شدید وارد واکنش شد. فسفر بدون کاهش نفوذپذیری بالای پیت (خاک) ته نشینی گردید.



(الف)



(ب)

شکل ۱۲-۱۴ پس از عبور از اراضی باتلاقی مصنوعی (الف) برای جداسازی نیتروژن از طریق نیترات زدایی (فصل ۱۳). پساب فاضلاب وارد مرحله‌ی آخر تصفیه (ب) گردید که در آن امکانات نوین برای جداسازی آلاینده‌ها به وسیله‌ی فرایندهای طبیعی طراحی شده بود. خاک دارای رنگ تیره که زیرچمن است یک لایه ضعیف پیت است که از داخل آن پساب فاضلاب بعد از پخش به وسیله‌ی سامانه‌ی بارانی در مزرعه نفوذ می‌کند. پیت دارای خصوصیات فیزیکی مطلوبی برای این خاک طراحی شده است، اما برای آن که توانایی تصفیه فسفر همانند اکثر خاک‌های معدنی در آن ایجاد شود باید به وسیله‌ی افزایش آهن اصلاح گردد.

اثر گذشت زمان بر قابلیت استفاده فسفر معدنی

در هر دو خاک اسیدی و قلیایی فسفر تمایل دارد که در واکنش‌های پیایی قرار گرفته تا ترکیبات فسفره با قابلیت انحلال هرچه کمتر تولید کند. بنابراین، هرچه فسفر در داخل خاک طولانی‌تر باقی بماند، تمایل دارد کمتر محلول گردیده و برای نبات کمتر قابل استفاده باشد. معمولاً وقتی فسفر قابل حل به یک خاک اضافه می‌شود، یک واکنش سریع فسفر را در چند ساعت اولیه از خاک جدا می‌کند (تثبیت فسفر).

واکنش‌های کندتر به تدریج به کاهش حلالیت فسفر در طول ماه‌ها و سال‌ها با سالمندی فسفر ادامه می‌یابد. فسفر تازه تثبیت شده ممکن است تا حدی محلول و قابل استفاده نبات باشد. با گذشت زمان حلالیت فسفر تثبیت‌شده شروع به کاهش می‌کند تا به مقادیر فوق‌العاده کم برسد. به نظر می‌رسد اثر سالمندی که در ارتباط با عواملی مانند نظم و ترتیب و اندازه‌ی بلورها و فسفات‌های ته‌نشین شده، پیوند دایمی‌تر فسفات جذب‌شده در داخل ذرات کریستال کلسیم و یا اکسیدهای فلزی، و میزان پنهان‌ماندن (مدفون‌شدن) فسفات جذب‌شده با پیشرفت واکنش‌های ته‌نشینی سطحی باشد (شکل ۱۳-۱۴). طبیعت این‌ها و دیگر واکنش‌ها در زیر بررسی خواهد شد.

جدول ۵-۱۴ ترکیبات دارای فسفر معدنی که معمولاً در خاک یافت می‌شوند. در هر گروه ترکیبات بر حسب افزایش انحلال مرتب شده‌اند.

ترکیب	نشان، فرمول
آهن و آلومینیوم	استرنجیت $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
	واریسیت $\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
	فلوراپاتیت $[\text{3Ca}_3(\text{PO}_4)_2] \cdot \text{CaF}_2$
کلسیم	کربنات اپاتیت $[\text{3Ca}_3(\text{PO}_4)_2] \cdot \text{CaCO}_3$
	هیدراکسی اپاتیت $[\text{3Ca}_3(\text{PO}_4)_2] \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$
	اکسی اپاتیت $[\text{3Ca}_3(\text{PO}_4)_2] \cdot \text{CaO}$
	فسفات تری کلسیم $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$
	فسفات اکتاکلسیم $\text{Ca}_8\text{H}_2(\text{PO}_4)_6 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
	فسفات دی کلسیم $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
	فسفات منو کلسیم $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4) \cdot \text{H}_2\text{O}$

۶-۱۴ قابلیت انحلال فسفر معدنی در خاک‌های اسیدی

نوع خاص واکنش‌ها که سبب تثبیت فسفر در شکل‌های نسبتاً غیرقابل استفاده نبات می‌شود در خاک‌های مختلف متفاوت بوده و در ارتباط نزدیک با pH خاک می‌باشد (شکل ۱۴-۱۴). در خاک‌های اسیدی این واکنش‌ها به‌طور غالب شامل Al^{3+} ، Fe^{3+} یا Mn^{3+} یا به‌صورت یون حل‌شده، اکسید و یا هیدرواکسید می‌باشد، بسیاری از خاک‌های دارای این هیدرواکسیدها به‌صورت پوششی بر روی ذرات خاک و یا رسوبات بین‌لایه‌ای در رس‌های سیلیکاتی می‌باشند. در خاک‌های قلیایی و آهکی واکنش عمدتاً شامل رسوب به‌صورت کانی‌های مختلف فسفات کلسیم (جدول ۵-۱۴) می‌باشد. درمقادیر pH متوسط، جذب بر روی لایه‌های کائولینیت و یا بر روی پوشش اکسید آهن کائولینیت، نقش مهمی ایفا می‌کند.

ته نشینی به وسیله ی این های آهن - آلومینیوم و منگنز

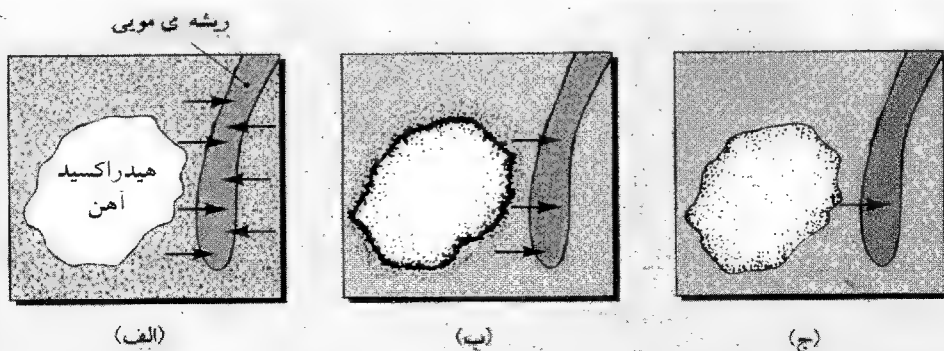
احتمالاً ساده‌ترین نوع از واکنش تثبیت فسفر برای مشاهده و بررسی، واکنش ساده یون H_2PO_4^- با یون‌های محلول Fe^{3+} و Al^{3+} برای تشکیل رسوب غیرقابل حل هیدرکسی فسفات (شکل ۱۵-۱۴). در خاک‌هایی با اسیدیته قوی، یون‌های محلول Fe^{3+} و Al^{3+} برای ته‌نشینی شیمیایی تقریباً تمام یون‌های حل‌شده H_2PO_4^- طی واکنش زیر به‌اندازه کافی وجود دارند:



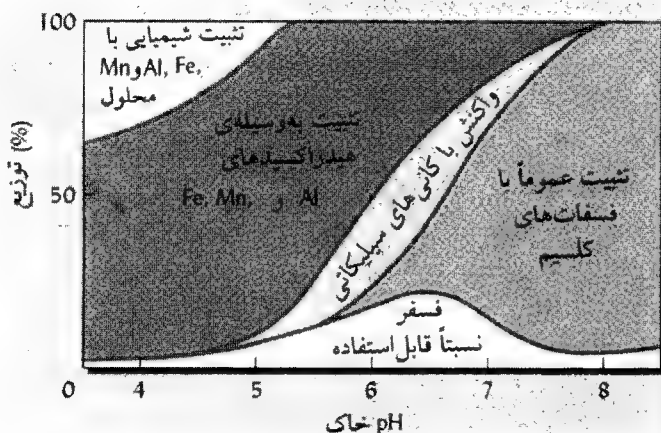
هیدراکسی فسفات تازه ته‌نشین شده به‌خاطر سطح مخصوص خیلی زیادی را که در معرض محلول خاک قرار می‌دهد کمی محلول است بنابراین فسفر موجود در آن‌ها، حداقل ابتدا تا حدی برای نباتات قابل استفاده است. در طول زمان با سالمند شدن هیدراکسی فسفات‌ها قابلیت انحلال آن‌ها کمتر شده و فسفر موجود در آن‌ها تقریباً برای اکثر نباتات غیرقابل استفاده می‌گردد.

واکنش با هیدراکسیدها و رس‌های سیلیکاتی

بیشترین تثبیت فسفر در خاک‌های اسیدی احتمالاً هنگامی صورت می‌گیرد که یون‌های $H_2PO_4^-$ با سطوح هیدراکسیدهای نامحلول آهن و آلومینیوم و منگنز، مانند گیبسیت^۱ ($Al_2O_3 \cdot 3H_2O$) و گویت^۲ ($Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$) وارد واکنش شده و یا جذب می‌شوند (شکل ۳-۱۴). این هیدراکسیدها به‌صورت ذرات بلوری و غیربلوری پوشش‌هایی در بین لایه‌ها و سطوح خارجی کلویدهای رسی وجود دارند. در بعضی شرایط، آلومینیوم ساختمانی در لایه‌ی رس‌های سیلیکاتی ۱:۱ (مثلاً کانولینیت) می‌تواند با فسفر وارد واکنش گردند. تثبیت فسفر به‌وسیله‌ی رس احتمالاً در دامنه‌ی وسیعی از تغییرات pH صورت می‌پذیرد (شکل ۱۴-۱۴) مقادیر زیادی از اکسیدهای Al و Fe و رس‌های ۱:۱ موجود در بسیاری از خاک‌ها سبب تثبیت مقادیر زیادی از فسفر به‌وسیله‌ی این واکنش‌ها می‌شود.



شکل ۱۴-۱۳ چگونه فسفات‌های نسبتاً محلول به‌وسیله‌ی ترکیباتی مانند هیدراکسیدهای آهن و آلومینیوم به‌صورت غیرقابل محلول در می‌آیند. (الف) موقعیت بلافاصله پس از به‌کارگیری فسفات محلول. ریشه‌های مویین و ذرات هیدراکسید آهن به‌وسیله‌ی فسفات‌های محلول احاطه شده‌اند. (ب) در مدت زمان کوتاهی اکثر فسفات محلول با سطح بلور اکسید آهن وارد واکنش شده‌اند. فسفر هنوز به‌خوبی قابل استفاده برای ریشه نبات است زیرا اکثر آن در سطح ذرات قرار گرفته‌است، ترشحات حاصل از نبات می‌تواند سبب تبادل آن گردد. (ج) در طول زمان فسفر در داخل بلور انتشار یافته و فقط بخش کوچکی در نزدیکی سطح یافت می‌شود. در این شرایط قابلیت استفاده آن اندک می‌باشد.



شکل ۱۴-۱۴ تثبیت معدنی فسفات‌های افزوده‌شده در مقادیر مختلف pH، شرایط میانگین مورد قیاس قرار گرفته و نباید استنتاج نمود که یک خاک خاص دقیقاً دارای این توزیع می‌باشد. نسبت واقعی فسفر باقیمانده در شکل قابل استفاده بستگی به میزان تماس آن با خاک، زمان لازم برای انجام واکنش، و سایر عوامل دارد. باید به‌خاطر داشت که بخشی از فسفر اضافه‌شده ممکن است به‌یک شکل آلی درآید که در آن شکل موقتاً غیرقابل استفاده باقی بماند.

گرچه تمام سازوکارهای این واکنش درست شناخته نشده است. یون‌های $H_2PO_4^-$ به‌خاطر واکنش با سطوح کانی‌های آهن و آلومینیوم به طُرُق مختلف که منجر به درجات مختلف تثبیت می‌گردند مشخص شده‌اند. بعضی از این واکنش‌ها در شکل ۱۵-۱۴ آمده‌اند.

^۱-Gibbsite

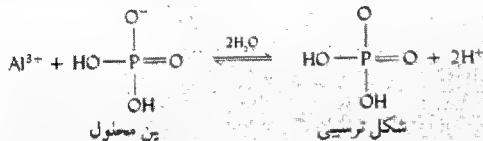
^۲-Goethite

ممکن است آنیون $H_2PO_4^-$ جذب بارهای مثبت گردد که در شرایط اسیدی بر روی سطوح اکسیدهای آهن و آلومینیوم، و لبه‌های شکسته رس‌های کائولینیت ایجاد می‌شوند (شکل ۱۵-۱۴). ممکن است آنیون‌های $H_2PO_4^-$ جذب شده به وسیله نیروی الکترواستاتیک به محل‌های دارای بار مثبت، به وسیله آنیون‌های خاص دیگر مانند OH^- ، SO_4^{2-} ، MoO_4^{2-} ، و یا اسیدهای آلی ($R-COO^-$)، در فرایند قابل برگشت تبادل که در فصل ۸ بیان گردیده برداشت گردند. از آن‌جاکه این نوع جذب بین‌های $H_2PO_4^-$ برگشت پذیر است ممکن است فسفر با ثانی برای جذب گیاهان قابل استفاده گردد. ممکن است قابلیت استفاده $H_2PO_4^-$ جذب شده (۱) با افزایش یمن هیدراکسیل در اثر آهک‌دادن، و (۲) با اضافه کردن ماده‌ی آلی برای افزایش اسیدهای آلی (آنیون‌ها) برای جایگزینی $H_2PO_4^-$ افزایش یابد.

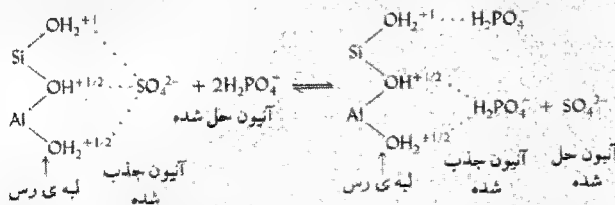
برعکس، ممکن است یمن فسفات جایگزین هیدراکسیل ساختمانی گردیده و به‌طور شیمیایی با سطح اکسید (و یا رس) پیوند تشکیل دهد (شکل ۱۵-۱۴). این واکنش ضمن این‌که قابل برگشت است فسفات را چنان نگهداری می‌کند که امکان جایگزینی آن به وسیله سایر آنیون‌ها مشکل می‌باشد و قابلیت استفاده فسفات محکم نگهداری شده بدین شکل، بسیار پایین است. در طول زمان ممکن است اکسیژن دوم از یمن فسفات به وسیله هیدراکسیل دیگر جایگزین، و فسفات از نظر شیمیایی با دو اتم آلومینیوم (یا آهن) مجاور در سطح هیدراکسید وارد پیوند شود. در این مرحله فسفات بخشی از مجموعه‌ی کانی اکسید گردیده و بنابراین امکان آزاد شدن دوباره آن به محلول خاک فوق‌العاده کم است (شکل ۱۵-۱۴).

نهایتاً، با گذشت زمان، ته‌نشینی بیشتر هیدراکسید آهن و آلومینیوم سبب مدفون شدن هرچه بیشتر فسفات در داخل ذره‌ی اکسید می‌شود. این شکل فسفات تحت واژه‌ی پنهان شده^۱ نامیده می‌شود و دارای کمترین فسفات قابل استفاده برای نبات می‌باشد. واکنش‌های ته‌نشینی مشابه آن‌چه هم‌اکنون تشریح گردید مسوول کاهش سریع قابلیت استفاده فسفر اضافه‌شده به خاک به صورت $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ در کودهای شیمیایی می‌باشد (شکل ۱۶-۱۴). این نوع واکنش‌ها می‌تواند برای تنظیم حلالیت فسفر در پساب‌ها مورد استفاده قرار گیرد (تابلو ۲-۱۴ را مشاهده کنید).

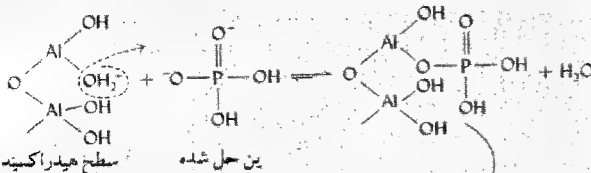
واکنش‌های ترسیبی (الف)



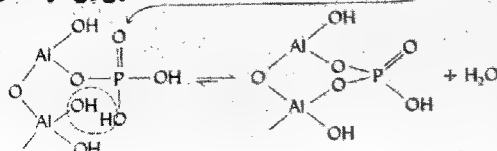
واکنش‌های تبادل آنیونی (ب)



واکنش با سطح اکسیدهای آهن و آلومینیوم (ج)



تشکیل پل دوگانه‌ی پایدار (د)

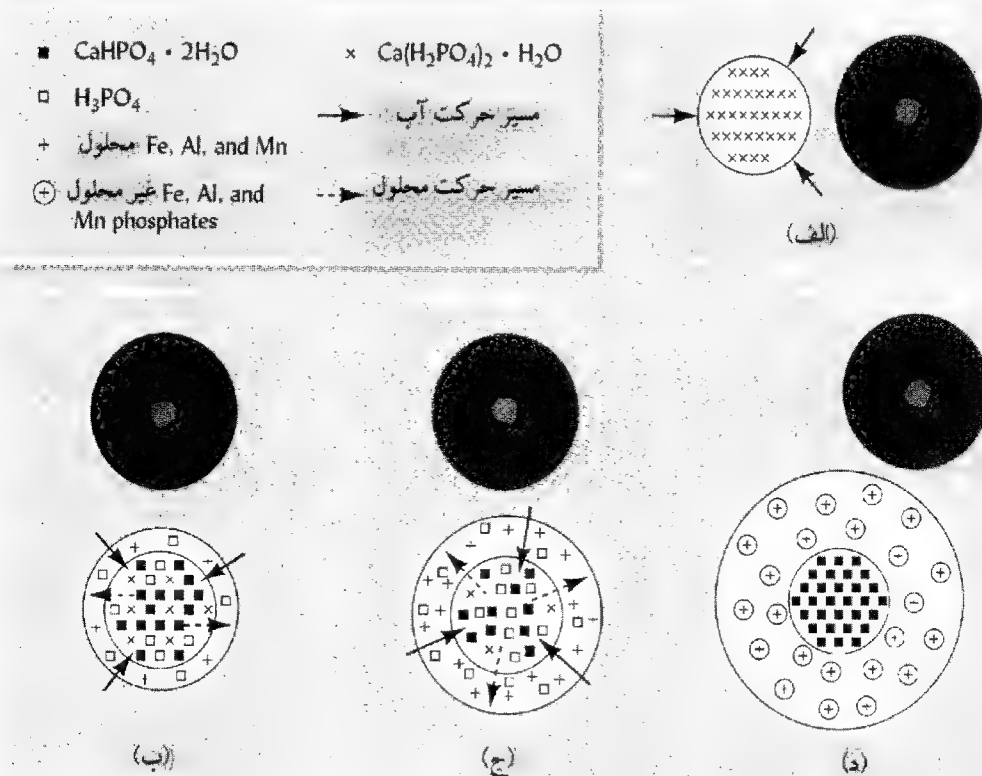


شکل ۱۵-۱۴ واکنش‌های متعددی که بر اثر آن‌ها یمن فسفات از محلول خاک جدا شده و طی واکنش‌هایی به وسیله آهن و آلومینیوم در شکل‌های مختلف هیدراکسیدها تثبیت می‌شود. فسفات‌های تازه ته‌نشین شده‌ی آهن، آلومینیوم و منگنز (الف) نسبتاً قابل استفاده بوده گرچه در طول زمان به‌طور مرتب غیرقابل استفاده می‌گردند. در (ب) فسفات به‌طور قابل برگشت به وسیله‌ی تبادل آنیونی جذب می‌شود. در واکنش‌هایی از نوع آن‌چه در (ج) نشان داده شده است یک یمن فسفات جایگزین یک گروه $-OH_2$ و یا $-OH$ در ساختار سطحی کانی‌های هیدراکسید آهن و آلومینیوم می‌گردد. در (د) فسفات در سطح کانی با تشکیل یک پل دو هسته‌ای بیشتر نفوذ می‌کند. واکنش‌های جذب سطحی (ب و ج و د) از واکنش‌هایی که فسفر را با حداقل کشش (نسبتاً قابل برگشت و تا حدی بیشتر قابل استفاده نبات) در پیوند قرار می‌دهند تا واکنش‌هایی که فسفر را با شدت در پیوند قرار می‌دهند (تقریباً غیرقابل برگشت و با حداقل قابلیت استفاده نبات) به ترتیب در شکل نشان داده شده‌اند. احتمال دارد در طول زمان یمن‌های فسفات اضافه شده به خاک در توالی تمام این واکنش‌ها قرار گرفته و به‌طور مداوم غیرقابل استفاده گردند.

اثر احیا آهن در شرایط مرطوب

فسفر پیوند یافته با اکسید آهن بر اثر سازوکارهای فوق‌الذکر در شرایط تهویه‌ای خوب بسیار نامحلول است. هرچند شرایط غیرهوازی طولانی می‌تواند آهن را در این ترکیبات از Fe^{3+} به Fe^{2+} احیا نموده و همتافت فسفات آهن را بیشتر قابل حل نموده و سبب آزاد شدن فسفر به داخل محلول گردد. در اثر این واکنش، قابلیت استفاده فسفر در خاک‌های برنج‌زار بالا می‌رود.

این واکنش‌ها ارتباط خاصی با مسایل کیفیت آب دارند. فسفر در پیوند ذرات خاک ممکن است در رسوبات (نهشته‌های) ته‌نشین شده رودخانه‌ها و دریاچه‌ها همراه با مواد آلی و سایر مواد تجمع یابد. با غیرهوازی شدن نهشته‌ها، ممکن است محیط احیاء سبب آزاد شدن تدریجی فسفر نگهداری شده در هیدراکسیدهای آهن گردد. بنابراین، فسفر موجود در خاک‌های فرسایش یافته امروزی ممکن است مسأله غنی شدن را در سال‌های آتی، حتی پس از مهار فرسایش و هدررفت فسفر از حوزه بالادست منبع آب به شدت مطرح کنند.

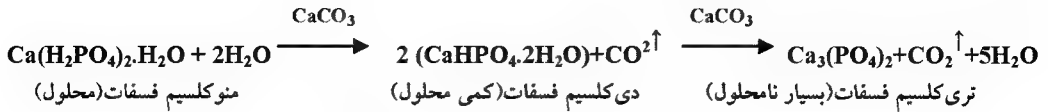


شکل ۱۴-۱۶ وقتی یک گردانه‌ی کود فسفات منوکلسیم محلول $[Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O]$ به یک خاک مرطوب اضافه شود، مجموعه‌ای از واکنش‌های زیر به‌طور شگفت‌انگیزی قابلیت فسفر اضافه‌شده را کاهش می‌دهد. (الف) $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ موجود در گردانه‌ی کود، آب را از خاک جذب می‌کند. (ب) در گردانه مرطوب اسیدفسفریک در واکنش: $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O + H_2O \longrightarrow CaHPO_4 \cdot 2H_2O + H_3PO_4$ تشکیل می‌شود. با جذب آب بیشتر محلول اسیدفسفریک (H_3PO_4) با pH حدود ۱/۴ به طرف خارج گردانه حرکت می‌کند. (ج) این محلول برای حل و جابه‌جایی آهن، آلومینیوم و منگنز خاک به اندازه کافی اسیدی می‌باشد. این یون‌ها به سرعت با فسفات واکنش انجام داده و ترکیبات با قابلیت انحلال کم تشکیل می‌دهند. (د) این ترکیبات بعداً به فسفات هیدروکسید آهن، آلومینیوم و منگنز در خاک‌های اسیدی تبدیل می‌گردند. در خاک‌های خشت تا قلیایی فسفات‌های کلسیم به همان اندازه غیرقابل حل تشکیل می‌شوند. در هر دو حالت دی‌کلسیم فسفات نامحلول در گردانه باقی می‌ماند. خوشبختانه فسفر موجود در ترکیبات تازه‌ته‌نشین شده به مقدار کمی برای جذب نباتات قابل استفاده می‌باشد اما وقتی این ترکیبات تازه ته‌نشین شده با گذشت زمان مواجه می‌شود و یا به اشکال بیشتر غیرقابل حل بازمی‌گردند، فسفر تقریباً به‌طور کامل برای نبات در کوتاه‌مدت غیرقابل استفاده می‌گردد.

۱۴-۷ قابلیت استفاده‌ی فسفر معدنی در pH های بالا

قابلیت استفاده فسفر در خاک‌های قلیایی عمدتاً برپایه‌ی قابلیت انحلال ترکیبات موجود فسفات‌های کلسیم تعیین می‌شود. در خاک‌های قلیایی (مثلاً ۸ - pH) یون $H_2PO_4^-$ محلول به سرعت با کلسیم وارد واکنش شده و مجموعه‌ای از ترکیبات را با کاهش قابلیت انحلال در توالی

با یکدیگر ایجاد می‌کند. برای نمونه فسفات منوکلسیم با قابلیت انحلال زیاد $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ که به‌صورت کود شیمیایی سوپر فسفات غلیظ به خاک اضافه شده است، به‌سرعت با کربنات کلسیم وارد واکنش گشته، اول دی‌کلسیم فسفات $[\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$ ، و سپس تری‌کلسیم فسفات $[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2]$ را طی واکنش زیر تولید می‌کند.



قابلیت انحلال این ترکیبات، و در نتیجه، قابلیت استفاده فسفر موجود در آن‌ها با تغییر فسفر از H_2PO_4^- به ترکیب تری‌کلسیم فسفات $[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2]$ کاهش می‌یابد. این ترکیب گرچه نامحلول است، اما ممکن است در معرض واکنش‌های بیشتر برای تشکیل ترکیبات نامحلول‌تر، مانند هیدراکسی، اکسی و کربنات اپاتیت و فلوراپاتیت، که در جدول ۵-۱۴ نشان داده شده‌اند قرار گیرد. این ترکیبات هزاران بار کمتر از تری‌کلسیم فسفات تازه تشکیل شده نامحلول می‌باشند. غیرقابل حل بودن فوق‌العاده زیاد اپاتیت‌ها در خاک‌های خنثی و قلیایی سبب می‌شود که گردستگ‌های فسفری (که عمدتاً دارای کانی اپاتیت هستند) در واقع به‌عنوان منبع فسفر برای گیاهان غیرقابل استفاده باشند مگر این‌که به‌صورت بسیار ریز آسیاب شده (برای افزایش سطح هواپذیری) درآمده و در خاک‌های نسبتاً اسیدی توزیع گردند.

برگشت فسفر محلول در کود شیمیایی به فسفات کلسیم فوق‌العاده غیرمحلول در خاک‌های قلیایی مناطق کم باران بسیار شدید است (برای نمونه، غرب آمریکا). ناخالصی‌های آهن و آلومینیوم در ذرات کلسیت نیز ممکن است سبب جذب مقادیر قابل توجهی فسفات در این خاک‌ها گردد. قابلیت فسفر در خاک‌های اریدی سول، انسپتی سول و مولی سول مناطق خشک ممکن است به همان مقدار اندک در خاک‌های خیلی اسیدی اسپدسول و التی سول مناطق مرطوب باشد که در آن‌ها آهن و آلومینیوم و منگنز سبب محدودیت استفاده فسفر می‌شوند.

۸-۱۴ ظرفیت تثبیت فسفر خاک‌ها

ممکن است خاک‌ها براساس ظرفیت آن‌ها برای تثبیت فسفر در اشکال غیرقابل استفاده‌ی غیرمحلول مشخص گردند، ظرفیت تثبیت فسفر یک خاک را می‌توان به‌عنوان مقدار کل مکان‌هایی که در سطوح ذرات خاک قادر باشند با یون‌های فسفر وارد واکنش گردند فرض نمود. همچنین، ممکن است تثبیت فسفر به خاطر واکنش آهن، آلومینیوم و منگنز محلول باشد. انواع سازوکارهای مختلف تثبیت به‌طور تصویری در شکل ۱۴-۱۷ آمده است.

یک راه برای تعیین ظرفیت تثبیت فسفر خاک عبارت از تکان دادن مقدار مشخصی از خاک در محلول فسفر با غلظت معین می‌باشد. بعد از ۲۴ ساعت، تعادل حاصل شده و غلظت فسفر باقیمانده در محلول (غلظت فسفر تعادلی^۱) می‌تواند مشخص گردد. اختلاف بین غلظت فسفر در محلول اولیه و ثانویه بیانگر میزان فسفر تثبیت شده به‌وسیله‌ی خاک می‌باشد. اگر این فرایند با استفاده از مجموعه‌ای از محلول‌ها با غلظت‌های مختلف اولیه تکرار شوند نتایج می‌توانند به‌عنوان منحنی تثبیت فسفر ترسیم شوند (شکل ۱۸-۱۴). بیشینه میزان ظرفیت تثبیت فسفر می‌تواند با برون‌یابی تا افقی شدن منحنی تثبیت به‌دست آید.

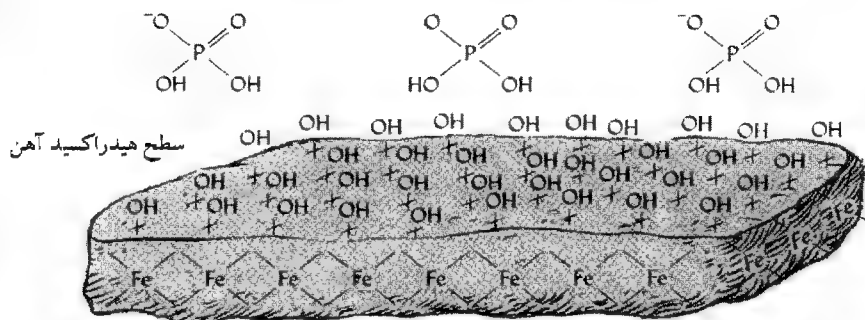
تثبیت فسفر به‌وسیله‌ی خاک‌ها به آسانی قابل برگشت نیست. هرچند اگر بخشی از فسفر تثبیت شده به‌صورت اشکال نسبتاً محلول حضور داشته (بخش ۶-۱۴)، و بیشتر محل‌های تثبیت قبلاً به‌وسیله‌ی ین فسفات اشغال گردیده باشند، آزاد شدن مقداری از فسفر محلول در صورت مواجهه خاک با آبی که دارای غلظت فسفر بسیار پایینی است احتمالاً صورت می‌گیرد. این آزاد شدن (که اغلب با جذب^۲ نامیده می‌شود) فسفر در شکل ۱۸-۱۴ جایی که منحنی خاک A از خط تثبیت صفر گذشته و منفی می‌گردد (تثبیت منفی یعنی آزاد شدن^۳) معین شده است. غلظت محلول (محور x ها) که در آن تثبیت صفر انجام می‌گیرد (نه فسفر آزاد و نه تثبیت می‌شود) EPC_0 نام دارد. آزاد شدن فسفر از قبل تثبیت شده به تأمین مجدد فسفر تخلیه شده‌ی خاک بر اثر جذب ثابت کمک می‌کند. آزاد شدن فسفر تثبیت شده همچنین در تعیین مقدار هدررفت فسفر حل شده در رواناب سطحی یک حوزه‌ی آبخیز بسیار مهم می‌باشد. EPC_0 یک پارامتر مهم خاک است زیرا بیانگر میزان حاصلخیزی فسفر، و خطر هدررفت فسفر به‌وسیله‌ی انحلال در رواناب می‌باشد.

¹ -Equilibrium Phosphorus Concentration (EPC)

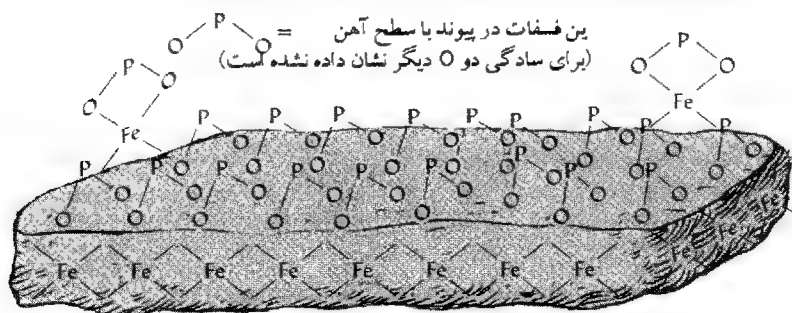
² -Desorption

³ -Release

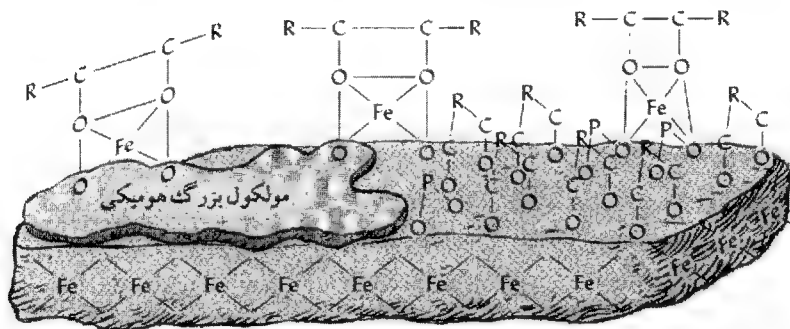
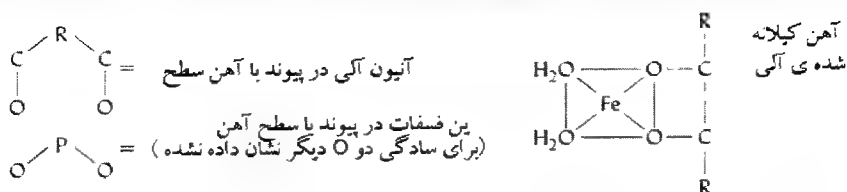
یون‌های فسفات در محلول



(الف)



(ب)



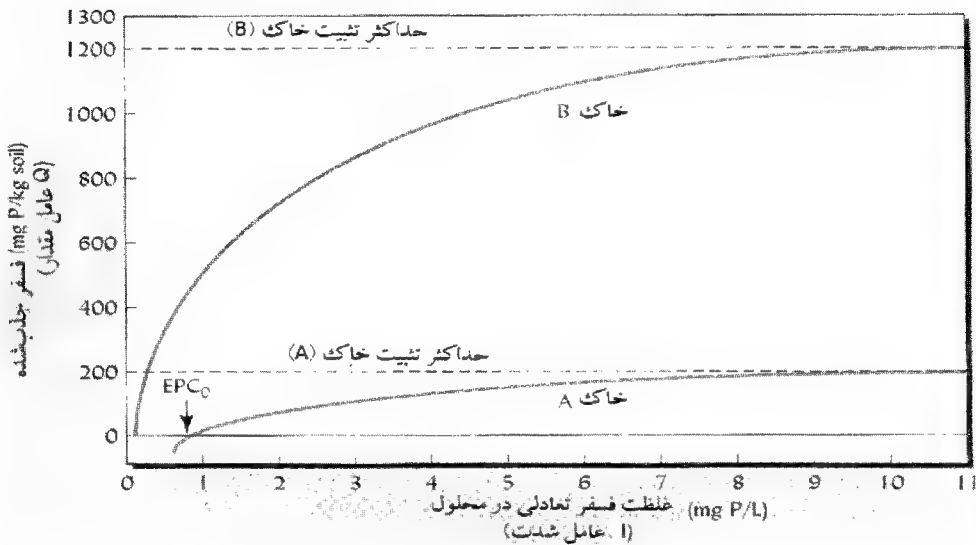
(ج)

شکل ۱۷-۱۴ تشریح نموداری محل‌های تثبیت فسفر بر روی سطوح ذرات خاک که در آن هیدراکسید آهن به‌عنوان عمده‌ترین عامل تثبیت مشخص شده است. در قسمت (الف) محل‌ها به‌صورت (+) نشان داده شده است که بیانگر محل بار مثبت و یا هیدراکسیدهای فلزی می‌باشد که هر یک قادر است یک یون فسفر را تثبیت کند. در قسمت (ب) محل‌های تثبیت همگی به‌وسیله یون‌های فسفات اشغال شده‌اند (ظرفیت تثبیت خاک تکمیل شده است). بخش (ج) تشریح می‌کند که چگونه آنیون‌های آلی، مولکول‌های بزرگ آلی و آنیون‌های معدنی به‌شدت جذب شده می‌توانند محل‌های موجود برای تثبیت را کاهش دهند. این سازوکار عامل کاهش تثبیت فسفر و قابلیت استفاده هرچه بیشتر فسفر به‌حساب می‌آید که در هنگام افزودن ماده‌ی آلی به خاک ظاهر می‌شود.

روابط مقدار- شدت فسفر در خاک^۱: رابطه‌ی بین فسفر محلول و فسفر در اشکالی با حلالیت کمتر و یا تثبیت شده نمونه‌ای از تعادل بین عوامل شدت و مقدار در حاصلخیزی خاک می‌باشد، شدت عبارتست از مقدار عنصر غذایی حل شده در محلول خاک (I)، و مقدار عبارتست از مقدار عنصر غذایی همراه با بخش جامد خاک که در تعادل با یون‌های غذایی محلول (Q) می‌باشد. در شکل ۱۸-۱۴ عامل شدت در محور X ها، و عامل مقدار بر روی محور Y ها نشان داده شده است. شیب منحنی تثبیت که رابطه (Q-I) را در هر خاک معین می‌کند، بیانگر مقدار تغییر در عامل Q در نتیجه مقدار تغییر مشخص در مقدار عامل I می‌باشد ($\Delta Q/\Delta I$). این نسبت راه دیگری برای بیان توان ظرفیت بافری خاک (PBC)^۲ است:

$$PBC = \frac{\Delta Q}{\Delta I}$$

این رابطه کلی نه تنها در مورد فسفر بلکه در مورد پتاسیم و یا هر ماده دیگری که غلظت آن به وسیله‌ی واکنش‌های جذب به وسیله‌ی بخش جامد خاک اداره می‌شود صادق می‌باشد. در بخش ۴-۹ برای نمونه بافر بودن pH مورد بحث قرار گرفته است.



شکل ۱۸-۱۴ رابطه‌ی بین تثبیت فسفر و فسفر محلول وقتی دو خاک مختلف (A و B) با محلول‌های با غلظت اولیه متفاوت فسفر مجاور گردیده و برای مدتی تکان داده می‌شوند. ابتدا هر خاک تقریباً تمام فسفر را از محلول خاک برداشت می‌کند، وقتی محلول‌ها با غلظت بیشتر و بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند، خاک مقدار بیشتری فسفر جذب می‌کند. هر چند، نهایتاً محلول‌هایی به کار می‌روند که چنان غلظت فسفر آن‌ها بالاست که اکثر محل‌های تثبیت فسفر خاک اشغال گشته و بیشتر فسفر حل شده در محلول باقی می‌ماند. مقدار فسفر جذب شده به وسیله‌ی خاک، وقتی حداکثر ظرفیت تثبیت فسفر خاک تأمین شد ثابت می‌گردد (خطوط پریده را در شکل ۱۸-۱۴ مشاهده کنند که برای خاک‌های A و B به ترتیب ۲۰۰ و ۱۲۰۰ میلی گرم فسفر در کیلوگرم خاک به دست می‌آید). اگر میزان غلظت اولیه فسفر یک محلول مساوی با غلظت تعادلی فسفر (EPC) در یک خاک خاص باشد، خاک نه فسفری از محلول برداشت می‌کند و نه فسفری به آن اضافه می‌کند ($EPC = EPC_0$)^۳ و تثبیت فسفر معادل صفر است. اگر غلظت محلول فسفر کمتر از EPC_0 باشد خاک مقداری فسفر را آزاد می‌کند (تثبیت منفی خواهد بود). در این مثال خاک B دارای ظرفیت تثبیت بسیار بالاتر و EPC_0 بسیار کمتری در مقایسه با خاک A می‌باشد. می‌توان گفت که خاک B دارای ظرفیت بافری بالایی است زیرا فسفر بسیار زیادی باید به این خاک اضافه شود تا افزایش اندکی در غلظت فسفر محلول در حال تعادل حاصل آید. به عبارت دیگر اگر ریشه‌ی گیاه مقدار نسبتاً زیادی از کل فسفر را از خاک برداشت کند، تغییر بسیار اندکی در غلظت محلول تعادلی ایجاد خواهد شد.

عوامل مؤثر در میزان تثبیت فسفر در خاک‌ها

خاک‌هایی که بیشتر از ۳۵۰ میلی گرم فسفر در هر کیلوگرم خاک (ظرفیت تثبیت ۷۷۰ کیلوگرم فسفر در هکتار) از محلول را برداشت می‌کنند به عنوان خاک‌هایی با ظرفیت تثبیت زیاد فسفر شناخته شده‌اند. غلظت فسفر در محلول خاک و رواناب خاک‌هایی که دارای ظرفیت

^۱ -Quality-Intensity relation

^۲ -Potential Buffering Capacity (PBC)

^۳ -Equilibrium Phosphorus Concentration (EPC)

زیاد تثبیت این عنصر می‌باشند، ناچیز است. در جدول ۶-۱۴ بیشینه مقدار فسفر برای خاک‌های مختلف درج شده است. اثر میزان رس در این ظرفیت تثبیت کاملاً آشکار است. این عامل و دیگر عوامل حال مورد بحث قرار می‌گیرند.

به‌طور کلی ظرفیت تثبیت فسفر یک خاک دارای ارتباط مثبت با خصوصیات مشخص خاک، مانند میزان کربنات کلسیم، میزان رس و میزان آهن، آلومینیوم، منگنز، به‌ویژه هیدراکسیدهای این فلزات می‌باشد.

جدول ۶-۱۴ بیشینه مقدار ظرفیت تثبیت فسفر در چندین خاک با نوع و مقدار رس متفاوت.

اکسیدهای Al و Fe (به‌خصوص انواع بی‌شکل) بیشترین مقدار و رس‌های سیلیکاتی (به‌خصوص انواع ۱:۲) کمترین مقدار را تثبیت می‌کنند

گروه بزرگ خاک و سری‌های مربوطه در صورت شناخت	موقعیت	درصد	نوع کانی	بیشینه مقدار تثبیت خاک mg/p/kg
Evesboro(Quartzipsamment)	مریلند	۶	کانولینیت، اکسیدهای Al و Fe	۱۲۵
Kandiustalfs	زیمبابوه	۲۰	کانولینیت، اکسیدهای Fe	۳۹۴
Kitsap(xerepts)	واشنگتن	۱۲	رس‌های ۱:۲، الوفان	۴۵۳
Matapeake(Hapludults)	مریلند	۱۵	کلریت، کانولینیت، اکسیدهای آهن	۴۶۵
Rhodustalfs	زیمبابوه	۵۳	کانولینیت، اکسیدهای آهن	۷۳۷
Newberg(Haploxerolls)	واشنگتن	۳۸	رس‌های ۱:۲، اکسیدهای آهن	۹۰۵
Tropohumults	کامرون	۴۶	اکسیدهای آهن، آلومینیوم، کانولینیت	۲۰۶۰

مقدار رس موجود: بیشتر ترکیباتی که فسفر با آن‌ها وارد واکنش می‌شوند در بخش‌های ریز خاک قرار دارند. بنابراین، اگر خاک‌ها دارای pH و کانی‌شناسی مشابه با همدیگر مورد مقایسه قرار گیرند، در خاک‌ها با میزان رس بالاتر میزان تثبیت فسفر بسیار برجسته‌تر و میزان قابلیت استفاده آن بسیار کمتر خواهد شد.

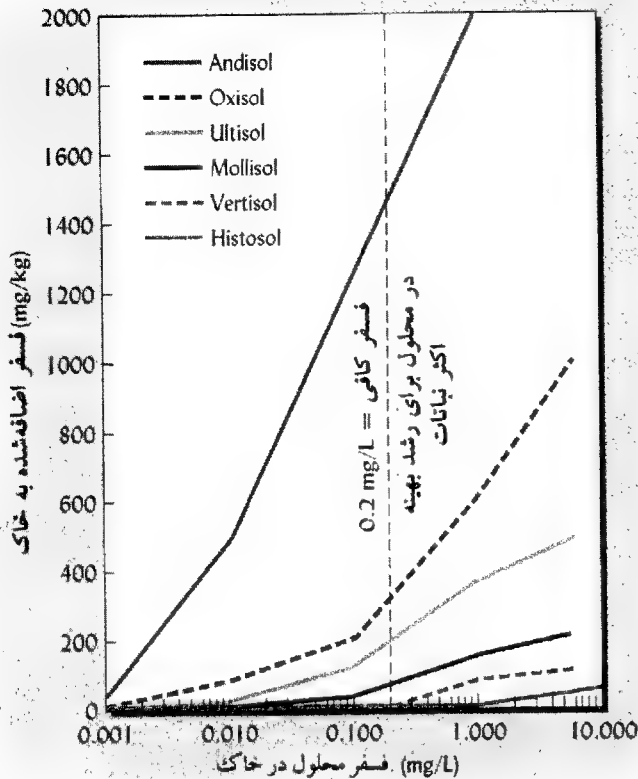
نوع کانی رسی موجود: بعضی از کانی‌های رس در تثبیت فسفر بسیار مؤثر از دیگران می‌باشند. رس‌هایی که دارای ظرفیت تبادل آنیونی بیشتری هستند (به‌علت بار مثبت سطحی) معمولاً تمایل بیشتری برای جذب یون‌های فسفات دارند. برای نمونه تثبیت شدید فسفر خصوصیت رس‌های الوفان می‌باشد که در خاک‌های اندی‌سول و سایر خاک‌های همراه با گدازه‌های آتشفشانی یافت می‌شود. هیدراکسیدهای آهن و آلومینیوم مانند گیسیت و گویت نیز یون‌های فسفر را جذب و نگهداری می‌کنند. در بین رس‌های سیلیکاتی ورقه‌ای، کانولینیت دارای بیشترین ظرفیت تثبیت فسفر در مقایسه با سایر رس‌هاست. رس‌های نوع ۱:۲ در خاک با هوادیدگی کمتر دارای ظرفیت نسبتاً اندکی برای پیوند با فسفر می‌باشند. بنابراین اجزای خاک که مسوول ظرفیت تثبیت فسفر هستند، به ترتیب افزایش میزان درجه تثبیت به شرح زیر می‌باشند:

الوفان، اکسیدهای بی‌شکل Mn, Al, Fe < اکسیدهای بلوری Mn, Al, Fe < بلورهای کربناتی < رس‌های ۱:۱ << رس‌های ۲:۱

توزیع اجزای تثبیت‌کننده فسفر خاک فوق‌الذکر در خاک‌ها، تا حدی در ارتباط با رده‌بندی خاک بوده است، در ورتی‌سول‌ها و مولی‌سول‌ها انواع رس‌های ۲:۱ غالب بوده و دارای ظرفیت پایین تثبیت فسفر می‌باشند، اکسیدهای آهن و آلومینیوم در النی‌سول‌ها و اکسی‌سول‌ها بسیار فراوان می‌باشند. مشخصه اندی‌سول‌ها دارا بودن مقادیر زیادی اکسیدهای بی‌شکل و الوفان است که دارای بیشترین ظرفیت تثبیت فسفر بوده و توان تولید آن‌ها اغلب در اثر این خصوصیت محدود می‌باشد.

اثر pH خاک: بیشترین مقدار تثبیت فسفر در pH بسیار پایین و بسیار بالای خاک صورت می‌گیرد. با افزایش pH از زیر ۵ به بالای ۶ فسفات‌های آهن و آلومینیوم تا حدی محلول‌تر می‌شوند. به همین ترتیب وقتی pH از بیشتر از ۸ به زیر ۶ می‌رسد، حلالیت ترکیبات فسفات کلسیم افزایش پیدا می‌کند. بنابراین، این حکم کلی را می‌توان صادر کرد که: در خاک‌های معدنی تثبیت فسفر در پایین‌ترین حد خود (قابلیت استفاده نبات در بالاترین حد) زمانی صورت می‌پذیرد که pH خاک در فاصله ۷-۶ حفظ گردد (شکل ۱۴-۱۴).

اگر دامنه‌ی تغییرات فسفر حتی در فاصله pH ۷-۶ باشد، قابلیت استفاده فسفر هنوز خیلی کم بوده و فسفات‌های محلول اضافه‌شده به آسانی به وسیله‌ی خاک‌ها تثبیت خواهند شد. باز یافت پایین فسفات‌های اضافه‌شده به خاک‌های معدنی مزارع در فصول معین سال به وسیله‌ی گیاهان تا حدی مربوط به این تثبیت است. بازیافت بسیار بیشتری در خاک‌های آلی (هیستوسول‌ها) و مخلوط‌های گلدانی که میزان غلظت کلسیم، آهن و آلومینیوم آن‌ها به اندازه خاک‌های معدنی نمی‌باشد قابل انتظار می‌باشد (شکل ۱۹-۱۴).



شکل ۱۹-۱۴ تمایل تثبیت شاخص فسفر در چندین راسته‌ی خاک: نمودار نشان‌دهنده‌ی غلظت فسفر قابل‌دستیابی در محلول خاک در هر راسته در صورت اضافه‌کردن مقادیر متفاوت فسفر قابل حل به صورت کود شیمیایی می‌باشد. گرچه در صورت تلقیح بعضی از نباتات با قارچ-ریشه‌ها می‌توانند در محلول‌هایی با غلظت پایین فسفر، به‌خوبی رشد کنند، غلظت ۰/۲ میلی‌گرم فسفر در هر لیتر محلول خاک برای رشد بهینه اکثر نباتات زراعی کافی می‌باشد (جدول ۷-۱۴ را مشاهده نمایید). بنابراین نمودار بیانگر آن است که برای بهینه رشد گیاه حدود ۱۵۰۰ میلی‌گرم فسفر در هر کیلوگرم خاک به خاک‌های راسته‌اندی‌سول باید اضافه شود، درحالی‌که چیزی در حدود ۲۰۰ میلی‌گرم فسفر در هر کیلوگرم خاک برای همان قابلیت استفاده فسفر در خاک‌های التی‌سول باید مصرف گردد. در داخل یک راسته‌ی خاص خاک تمایل تثبیت هر خاک جداگانه ممکن است به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای تغییر یابد. منحنی‌های داده شده گرچه معرف راسته‌های مشخص شده است. اما باید به‌خاطر داشته باشیم که مصرف مقادیر بالای فسفر نهایتاً سبب کاهش ظرفیت تثبیت (کاهش شیب منحنی)، به دلیل پرشدن محل‌های تثبیت می‌گردد.

اثر ماده‌ی آلی: ماده‌ی آلی معمولاً دارای ظرفیت اندکی برای تثبیت یون‌های فسفات به‌طور پایدار می‌باشد. خاک‌های دارای ماده‌ی آلی زیاد به‌خصوص بخش‌های فعال ماده‌ی آلی (بخش ۸-۱۲)، معمولاً مقادیر کمتری از تثبیت فسفر را به نمایش می‌گذارند. سازوکارهای متعددی مسوول تثبیت کمتر فسفر در ارتباط با مقادیر زیاد ماده‌ی آلی خاک می‌باشند (شکل ۱۷-۱۴). اول، مولکول‌های بزرگ هومیک می‌توانند به سطح رس‌ها و ذرات هیدراکسید فلزی چسبیده و سبب پوشاندن محل‌های تثبیت فسفر و جلوگیری از تعامل آن‌ها با یون‌های فسفر در محلول گردند. دوم، اسیدهای آلی تولیدشده به‌وسیله‌ی ریشه نباتات و تجزیه میکروبی می‌توانند همانند یک آنیون آلی عمل کنند، یعنی جذب بارهای مثبت و هیدراکسیدها در سطوح ذرات رس و هیدراکسیدها گردند. ممکن است این آنیون‌های آلی با یون‌های فسفات برای تثبیت وارد رقابت گردند. سوم، اسیدهای آلی خاص و ترکیبات مشابه می‌توانند Al و Fe فعال را در هم‌تافت‌های آلی که کیلات نامیده می‌شوند (فصل ۶-۱۵) را مشاهده نمایند در بر گیرند. وقتی این فلزات کیلاته شوند، برای واکنش با یون‌های فسفر در محلول در دسترس نمی‌باشند.

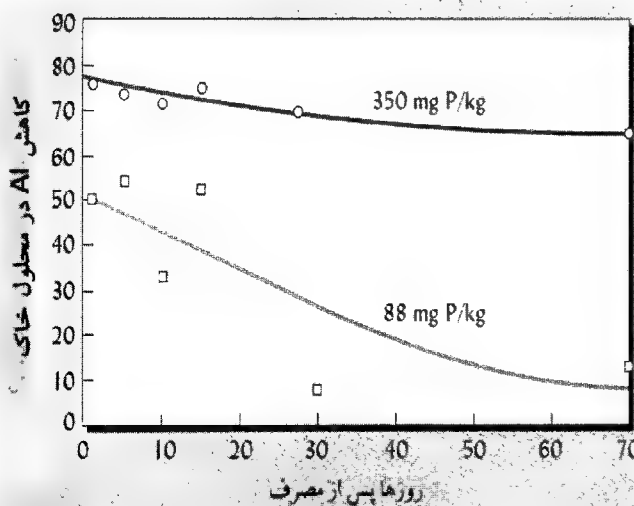
۹-۱۴ تنظیم عملی قابلیت استفاده‌ی فسفر خاک

مشاهده کردیم که اکثر خاک‌های معدنی دارای ظرفیت بالایی برای جداسازی یون‌های فسفر از محلول و تثبیت آن‌ها بر روی سطوح ذرات می‌باشند، بنابراین امکان به‌دست‌آوردن مقادیر کافی از این عناصر اساسی برای نبات مشکل می‌گردد. فسفر موجود در کود شیمیایی نیز در معرض تثبیت بر روی سطوح ذرات خاک بوده و احتمال دارد که فقط ۱۰ تا ۱۵ درصد فسفر اضافه شده در کود شیمیایی در سال مصرف به‌وسیله‌ی نبات جذب گردد. بنابراین قابلیت استفاده فسفر یک عامل محدودکننده در بسیاری از بوم‌سامانان زراعی می‌باشد. براساس اصول رفتاری فسفر خاک که در این فصل تشریح گردیدند، تعدادی رهیافت می‌تواند برای اصلاح مسأله‌ی حاصلخیزی فسفر توصیه گردد.

۱- اشباع ظرفیت تثبیت فسفر: در صورت مصرف فسفر کافی، ظرفیت تثبیت فسفر حتی در خاک‌های تثبیت‌کننده شدید فسفر می‌تواند به‌طور عمده اشباع گردد. این محل می‌تواند تماماً در یک مرحله با مصرف یک یا دو بار مقادیر مصرف سنگین (معمولاً به‌صورت کودهای شیمیایی فسفره، سنگ فسفات و یا کود دامی دارای میزان فسفر بالا) انجام گیرد، و یا در طول سال‌ها با اضافه‌کردن فسفر بیشتری از آنچه نبات برداشت می‌کند تحقق یابد. رهیافت اشباع فسفر چه سریع و چه آرام نهایتاً سبب پرشدن تمام محل‌های تثبیت فسفر شده و منجر به ایجاد خاکی با فسفر چنان بالایی می‌گردد که مقادیر فراوان فسفر به‌رغم ظرفیت بالای تثبیت فسفر اولیه، در محلول خاک باقی می‌ماند. این رهیافت، به‌خصوص

بالا بردن سریع فسفر، می‌تواند با توجه به سرمایه‌گذاری اولیه برای کود فسفره خیلی پرهزینه باشد. به این دلیل، برای اکثر زارعین و جنگل‌داران جهان کاربرد این روش عملی نیست، ولی در بعضی از نظام‌های زراعی پرنهاده این رهیافت عملی شده است. مانع دوم این رهیافت توان آن برای آلودگی آب ناشی از مقدار زیاد فسفر آزاد شده در رواناب خاک‌های اشباع از فسفر می‌باشد.

۲- جایگذاری کودهای فسفره: راهبرد مناسب برای به‌حداکثر رساندن ارزش کود همانا به‌حداقل رساندن فرصت برای واکنش فسفر با خاک قبل از جذب به‌وسیله‌ی نبات، می‌باشد. معمولاً به‌جای این که کود کاملاً با خاک مخلوط گردد (دست‌پاش)^۱ اگر مستقیماً در منطقه انتشار ریشه به‌طور موضعی جایگذاری (جایگذاری نقطه‌ای)^۲ شود میزان مصرف کود ۱/۲ تا ۱/۳ خواهد شد. جایگذاری نقطه‌ای در مناطقی که کود با دست توزیع می‌شود. به‌طور وسیعی مورد استفاده می‌باشند. اما ماشین‌های چرخ‌دنده‌ای تزریق کود (شکل ۲۶-۱۶) چنان تکامل یافته‌اند که می‌توانند جایگذاری نقطه‌ای راحتی در نظام‌های مکانیزه عملی کنند. مصرف نواری^۳ کود یک روش استاندارد برای کودهای آغازکننده‌ی^۴ رشد نبات است (شکل ۲۵-۱۶). درختان اغلب به‌وسیله‌ی روش قرص (چاله‌ای)^۵ کود داده می‌شوند. در نظام‌های نبود خاک‌ورزی یک نوار سطحی از کود اغلب ایجاد می‌گردد. در شکل ۲۰-۱۴ مشخص می‌شود تراکم کود در نوار چگونه سبب کاهش قابل توجه سطوح سمی آلومینیوم در خاک‌های خیلی اسیدی شده است.



شکل ۲۰-۱۴ درصد کاهش در آلومینیوم محلول بر اثر مخلوط کردن ۲ میزان فسفات محلول در یک خاک مولی‌سول اسیدی در ایالت اکلاهما. میزان بالا تقریباً معادل سطحی است که بلافاصله در خاک در اطراف محل مصرف نواری فسفر قابل انتظار است. درحالی که میزان پایین بسیار نزدیک به همان مقدار فسفر است که به‌طور دستپاش در تمام سطح خاک پخش شده است. هر دو روش، میزان آلومینیوم محلول را بلافاصله بعد از مصرف کاهش داد، اما بعد از ۷۰ روز، کاهش فقط در مورد مقدار فسفر با میزان بالاتر معنی‌دار بود. مصرف نواری فسفر سبب سطح بالاتر فسفر به‌طور موضعی گردید و همزمان با آن اثرات سمی آلومینیوم در هنگام جوانه‌زدن گیاهچه‌ها کاهش یافت.

۳- ترکیب کودهای آمونیوم با کودهای فسفره: استفاده از آمونیوم در همان نوار با کودهای فسفره جذب فسفر را به‌وسیله‌ی ریشه گیاه به مقدار زیادی، به‌خصوص در خاک‌های قلیایی افزایش می‌دهد. افزایش جذب فسفر احتمالاً مربوط به اسیدهایی است که در طول نیتراشن شدن، و یا اسیدهایی است که ریشه‌ها به‌خاطر تولید آن هنگام جذب نیتروژن مورد نیاز خود در شکل آمونیوم شناخته شده می‌باشند (شکل ۳-۱۳) کودهای فسفات منو و دی‌آمونیم اغلب دارای این مزیت می‌باشند (شکل ۲۱-۱۴).

۴- انتخاب گیاهان با کارایی زیاد مصرف فسفر: بعضی از نباتات قادرند در روی خاک‌هایی که دارای فسفر قابل استفاده بسیار کمی می‌باشند به‌خوبی رشد کنند (جدول ۷-۱۴). سازوکار جذب کارآمدتر فسفر تا حدی شناخته شده است. بعضی از نباتات دارای نظام ریشه ریز با گستردگی بسیار می‌باشند. سایر نباتات وابسته به همکاری کارآمد قارچ-ریشه‌اند. گرچه سایر نباتات ترشحات خاص ریشه تولید می‌کنند که سبب انحلال فسفات کلسیم (در مورد گندم سیاه) و یا فسفات‌های آهن (در مورد لوبیا چشم بلبلی) می‌شوند.

۵- چرخه‌ی بیشتر فسفر آلی: ممکن است معدنی کردن مواد آلی (کود دامی و یا سایر مواد غنی از فسفر) اضافه‌شده به خاک سبب آزادی تدریجی فسفر تا حدی موزون و همزمان با نیازهای نبات گردد، این آزاد شدن آهسته به نبات امکان می‌دهد که فسفر را قبل از این که واکنش‌های تثبیت از خاک جدا کنند، از منبع قابل استفاده جذب کند. ریزش برگ درختان و پس‌مانده‌های نبات فسفر را در اشکال آلی با توان

¹ -Broadcasting

² -Point placement

³ -Banding

⁴ -Starting fertilizer

⁵ -Pellet

معدنی شدن به خاک برمی گرداند. تناوب گیاهان دارای کارایی بالای مصرف فسفر با گیاهان دارای کارایی پایین آن ممکن است اشکال معدنی فسفر جذب شده به وسیله نباتات کارا را به اشکال آلی در بقایای این گیاهان تبدیل کند. تجزیه بعدی و معدنی شدن این بقایا ممکن است تأمین فسفر را برای گیاهان دارای کارایی کمتر افزایش دهد (شکل ۲۲-۱۴). در خاکهایی با مقدار فسفر کل بالا اما با قابلیت استفاده پایین فسفر، تناوب زراعی، مدیریت بقایا و جنگل-زراعی^۱ ممکن است تماماً سبب جابه جایی فسفر بیشتر به اشکال آلی گردند تا آن‌ها را از تثبیت شدن محافظت کنند. ممکن است این فسفر در آینده با معدنی شدن ترکیبات آلی قابل استفاده گردد.

۶- چرخه بیشتر مواد آلی: ماده‌ای آلی خاک علاوه بر تهیه فسفر آلی برای معدنی شدن می‌تواند قابلیت استفاده فسفر را با کاهش تمایل بخش جامد برای تثبیت فسفر بهبود بخشد. پوشاندن محل‌های تثبیت فسفر به وسیله هموس و اسیدهای آلی و کیلاته کردن Fe و Al در بخش ۸-۱۴ مورد بحث قرار گرفت. برگشت دادن پس مانده‌های گیاهی، منظور کردن گیاهان کود سبز در تناوب، خاک پوش به وسیله مواد آلی مختلف و افزودن کود دامی و سایر پس مانده‌های آلی قابل تجزیه می‌تواند فسفر قابل استفاده را افزایش دهد.

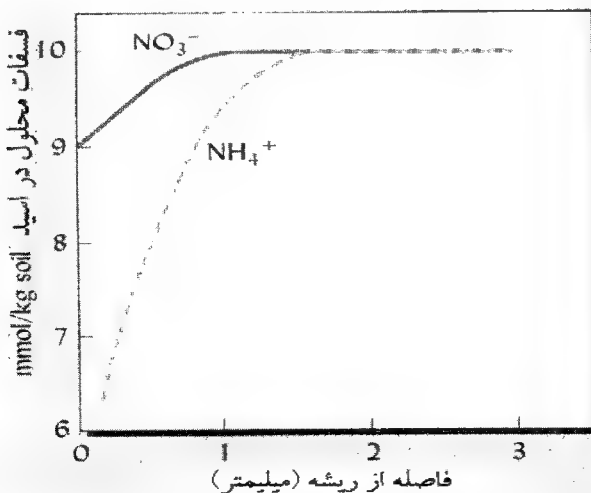
۷- تنظیم pH خاک: تنظیم قابلیت انحلال فسفر را می‌توان تا حدی با نگهداری pH در فاصله ۷-۶ به دست آورد (شکل ۱۴-۱۴ را مشاهده کنید). نگهداری pH در این فاصله در خاک‌های کمتر هوازده بسیار عملی‌تر از خاک‌های خیلی هوازده مناطق گرم و مرطوب می‌باشد. آهک دادن مناسب می‌تواند سبب بهبود قابلیت استفاده فسفر در بسیاری از موارد گردد، اما اگر منبع آهک در محل موجود نباشد ممکن است هزینه عامل محدودکننده باشد.

۸- ارتقای همزیستی قارچ- ریشه‌ای: همان‌طور که قبلاً بیان شد قارچ-ریشه‌ها توانایی گیاهان را برای به دست آوردن فسفر در خاک‌های دارای مقادیر اندک فسفر محلول ارتقاء می‌دهند (بخش ۳-۱۴). در مورد بسیاری از بوته‌ها و درختان جنگلی تلقیح نهالچه‌ها با ارقام سازگار قارچ-ریشه یک روش عملی هنگام غرس نهال‌های جدید است (بخش ۹-۱۱). هرچند در بیشتر گیاهان همزیستی میکوریز با ایجاد شرایط مناسب در خاک بر اثر تناوب زراعی، اضافه کردن مواد آلی و انجام حداقل عملیات خاک‌ورزی می‌تواند به بهترین وجه ارتقاء یابد.

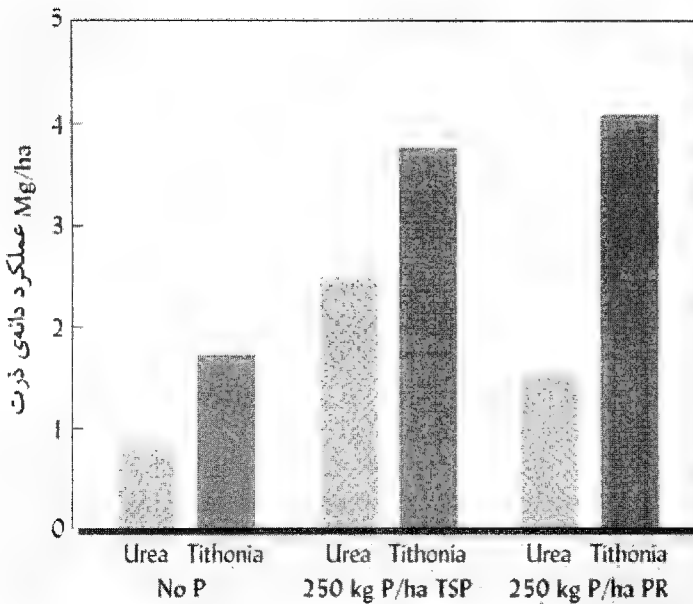
در خلاصه و جمع‌بندی بحث فسفر باید بیان نمود که منبع اندک فسفر قابل استفاده در اکثر خاک‌ها بر اثر تعدادی از فرایندها تخلیه و دوباره ذخیره می‌شود (شکل ۲۳-۱۴). نگهداری فسفر قابل استفاده کافی در خاک اساساً یک برنامه دو مرحله‌ای است: (۱) افزودن کود شیمیایی و مواد اصلاح‌کننده فسفر (۲) تنظیم فرایندهای خاک تا حدی که سبب تثبیت فسفر اضافه شده و بومی خاک گردند.

جدول (۷-۱۴) غلظت فسفر مورد نیاز در محلول خاک برای رشد بهینه (۹۵٪ حداکثر رشد) در گیاهان مختلف

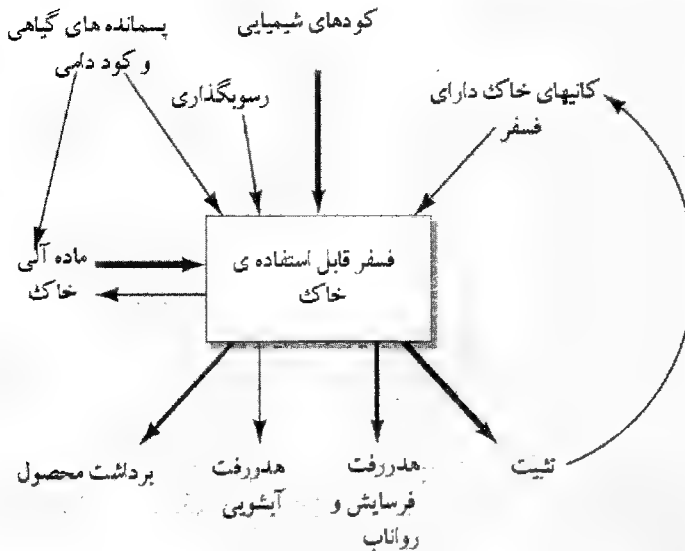
گیاه	کاساوا	بادام زمینی	ذرت	ذرت خوشه‌ای	کلم	سویا	گوچه‌فرنگی	کاهو برگی
مقدار تقریبی فسفر در محلول خاک mg/L	۰/۰۰۵	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۲	۰/۲	۰/۳



شکل ۲۱-۱۴ اثر منبع نیتروژن (نیترات در مقایسه با آمونیوم) بر میزان فسفر محلول در اسید در نزدیکی سطح ریشه‌ی چاودار. به نظر می‌رسد یون‌های NH_4^+ سبب افزایش اسیدیته در نزدیکی ریشه‌ها گردیده و باعث انحلال مقداری از فسفر خاک شدند که به وسیله نباتات چاودار جذب، و سبب باقی ماندن سطح پایین فسفر در خاک گردیده است.



شکل ۱۴-۲۲ یک خارپشته معمولی تی‌تونیا *Tithonia diversifolia* که بر روی خاک‌های غیر حاصلخیز اکسی‌سول در کنیا رشد می‌کند یک منبع مؤثر غذایی برای گیاهان زراعی همراه می‌باشد. عکس‌العمل محصول تا حدی مرتبط به تأمین پتاسیم به‌وسیله تی‌تونیا و تا حد دیگر مؤثر بودن هرچه بیشتر سنگ‌های فسفات بر روی کورت‌هایی است که بقایای تی‌تونیا را دریافت می‌دارند. تحقیقات مطرح می‌کنند که تجزیه بقایای تی‌تونیا ممکن است سبب افزایش فعالیت میکروب‌های خاک و کاهش ظرفیت جذب فسفر خاک گردد.



شکل ۱۴-۲۳ چگونگی تخلیه و جبران دوباره منبع فسفر قابل‌استفاده خاک در یک بوم‌سامان زراعی. عرض پیکان‌ها بیانگر مقدار فسفر در هر مسیر است. دو مسیر عمده در اکثر خاک‌های زراعی عبارتند از اضافه‌کردن فسفر در مواد اصلاحی (معمولاً کود شیمیایی) و تثبیت بعدی بیشتر فسفر اضافه‌شده در شکل‌های غیرقابل استفاده، برگشت پسماندهای حاصل از نبات و حیوان و معدنی‌شدن بعدی ماده‌ی آلی می‌تواند نقش‌های عمده‌ای در جبران فسفر قابل‌استفاده این‌ها کنند. توجه داشته باشید که هدررفت حاصل از آبشویی قابل‌صرفنظر کردن می‌باشد.

۱۰- ۱۴ پتاسیم: سرشت و نقش بوم‌شناختی

در بین تمام عناصر غذایی، پتاسیم با احتمال خیلی زیاد بعد از نیتروژن و فسفر سومین عنصری است که توان تولید نباتات را محدود می‌کند و به این دلیل پتاسیم معمولاً به‌صورت کودهای شیمیایی به خاک اضافه شده و از اجزاء اکثر کودهای شیمیایی مخلوط است. داستان پتاسیم در پاره‌ای از موارد با فسفر متفاوت است، برخلاف فسفر (گوگرد و تا حد زیادی نیتروژن) پتاسیم در محلول خاک به‌صورت یک کاتیون باردار، K^+ وجود دارد. همانند فسفر پتاسیم ترکیبات گازی تشکیل نداده تا در نیوار تلف گردد. رفتار پتاسیم در خاک عمدتاً تحت تأثیر خصوصیات تبادل کاتیونی خاک و هوادیدگی کانی‌ها در مقایسه با فرایندهای میکروب‌شناسی می‌باشد. برخلاف نیتروژن و فسفر، پتاسیم هنگام خروج از خاک مسایل زیست‌محیطی خارج از محل اصلی^۱ ایجاد نمی‌کند. این عنصر سمی نبوده و غنی‌شدن را در سامانه‌های آبی به‌بار نمی‌آورد.

^۱ -Offsite

۱۱-۱۴ پتاسیم در تغذیه ی نبات و حیوانات

با آنکه پتاسیم نقش های متعددی در تغذیه ی نبات و حیوان ایفا می کند، ولی در واقع در ساختمان ترکیبات آلی وارد نشده، و به صورت یونی (K^+) در محلول یاخته باقی مانده، و یا به صورت فعال کننده در آنزیم های یاخته ای عمل می کند. پتاسیم از نظر فعال کردن ۸۰ آنزیم مختلف مؤثر در فرایندهای نباتی و حیوانی مانند سوخت و ساز انرژی، ساختن نشاسته احیای نیترات، سوخت و ساز نوری و تجزیه ی قند شناخته شده است. گیاهان خاصی که بسیاری از آنها در محیط های نیمه خشک غنی از سدیم، تکامل یافته اند می توانند سدیم و یا دیگر یون های یک ظرفیتی را برای ایفای بعضی از نقش های پتاسیم، اما نه همه ی آنها جایگزین کنند.

به عنوان یک جزء از محلول سیترولاسم یاخته، پتاسیم یک نقش حیاتی در پایین آوردن پتانسیل اسمزی یاخته ای ایفا می کند. بنابراین، هدررفت آب را از منافذ برگ کاهش داده و توانایی یاخته های ریشه را برای جذب آب از خاک بالا می برد (بخش ۳-۵ را در مورد تشریح پتانسیل اسمزی آب مشاهده کنید). پتاسیم برای سوخت و ساز نوری، بازساختن پروتئین، تثبیت نیتروژن در نباتات، تشکیل نشاسته و جابه جایی قند در نباتات ضروری می باشد. با توجه به تمام نقش های فوق الذکر، تأمین مناسب این عنصر سبب ارتقاء تولید دانه های فربه و غده های بزرگ می شود. میزان پتاسیم مورد انتظار در بافت های عادی و سالم برگ می تواند در حدود ۱ تا ۴ درصد، تقریباً مشابه نیتروژن اما ده برابر بیشتر از فسفر در اکثر نباتات باشد.

پتاسیم از نظر یاری گیاهان برای سازگاری با تنش های محیطی مخصوصاً مهم است. تغذیه ی خوب پتاسیم نبات سبب ایجاد مقاومت بالا به خشکسالی، مقاومت به سرمای زمستانی، مقاومت بیشتر به امراض قارچی و آفات ناشی از حشرات می گردد (شکل ۲۴-۱۴). مصرف کود پتاسه اغلب بخشی از برنامه ی مبارزه ی تلفیقی مدیریت آفات^۱ می باشد که برای کاهش استفاده از آفت کش های شیمیایی طراحی شده است^۲، پتاسیم همچنین سبب ارتقاء کیفیت گل ها، میوه ها و سبزی ها با بهبود مزه، رنگ و تقویت ساقه ها (بنابراین کاهش ورس) می گردد. به نظر می رسد در بسیاری از این موارد که پتاسیم با اثرات زیان بار زیادی نیتروژن مقابله می کند. حفظ تعادل بین پتاسیم و سایر عناصر غذایی (به خصوص نیتروژن، فسفر، کلسیم و منیزیم) یکی از اهداف مهم در مدیریت حاصلخیزی خاک است.

در حیوانات، از جمله انسان، پتاسیم نقش حیاتی در تنظیم نظام عصبی و حفظ رگ های خونی سالم ایفاء می کند. ثابت شده است که جیره ی غذایی شامل مواد غنی از پتاسیم مانند موز، سیب زمینی، آب پرتقال و سبزی های برگی خطر سکت و امراض قلبی را کاهش می دهند. حفظ تعادل بین پتاسیم و سدیم، به خصوص در جیره غذایی انسان ها مهم است.

علائم کمبود پتاسیم در نباتات

در مقایسه با کمبود فسفر و سایر عناصر غذایی، تشخیص کمبود پتاسیم در اکثر نباتات نسبتاً آسان است. علاوه بر خصوصیات مورد اشاره فوق الذکر (کاهش مقاومت به خشکسالی، افزایش ورس و...) علائم خاص برگ با کمبود پتاسیم همراه می باشد. چون پتاسیم در داخل نبات بسیار پویاست، اگر عرضه ی آن ناکافی باشد از برگ های پیر به برگ های جوان انتقال یافته، بنابراین، علائم کمبود معمولاً زودتر از همه و با حداکثر شدت در برگ های پیر صورت می گیرد.

به طور کلی با شروع کمبود پتاسیم نوک و حاشیه پیرترین برگ ها شروع به زرد شدن می کند (کلروز) سپس خشک شده، می میرد (نکروز)^۳. بنابراین به نظر می رسد حاشیه برگ ها سوخته شده است (شکل ۲۵-۱۴). در بعضی از نباتات، لبه ی برگ های نکروز شده ممکن است پاره گشته و به برگ ظاهری خشن بدهد (شکل ۲۵-۱۴ ج)، در بعضی از گیاهان علوفه ای و گونه های نیام دار در کشت های پوششی^۴ سبب تولید نقطه های کوچک سفید نکروتیک گردیده که یک حالت شاخص را در حاشیه برگچه ها تشکیل می دهد. این علامت قابل تشخیص آسان را اغلب مردم با خسارات حشرات اشتباه می گیرند (شکل ۲۵-۱۴ را مشاهده کنید).

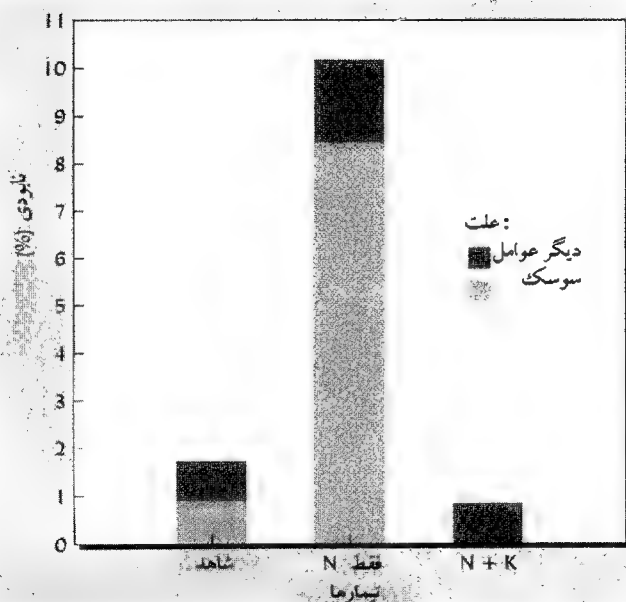
کمبود پتاسیم را نباید با خسارت حاصل از شوری زیاد اشتباه نمود، که آن نیز می تواند سبب ایجاد حاشیه ای قهوه ای نکروتیک در برگ شود. خسارت ناشی از شوری بیشتر برگ های جدید را تحت تأثیر قرار می دهد (شکل ۱۳-۱۰ را مشاهده کنید).

^۱ -Integrated Pest Management (IPM)

^۲ -در یک تحقیق مصرف ۲۲۴ کیلو نیتروژن در هکتار در کاج پندروسا سبب تشدید مرگ و میر درخت بر اثر حمله ی سوسک به مقدار ۸ درصد، و مصرف همین مقدار پتاس سبب کاهش خسارت به یک درصد گردید

^۳ -Necrosis

^۴ -Legume cover crops برای پوشش دادن خاک در فصل آیش



شکل ۲۴-۱۴ تأثیر تیمارهای کود پتاسیم و کود نیتروژنی بر روی درصد مرگ‌ومیر درختان کاج پاندروزا به‌وسیله‌ی سوسک و سایر علل در چهار سال اول بعد از کشت آن‌ها در مونتانای غربی. نیتروژن مصرف شده به‌تنهایی (۲۲۴ کیلوگرم در هکتار) سبب افزایش زیاد مرگ‌ومیر شد. اما اضافه‌کردن پتاسیم (۲۲۴ کیلوگرم در هکتار) کاملاً باعث برعکس نمودن این اثر گردید. تیمار مرکب از هر دو کود سبب تشدید رشد درختان زنده گردید.

۱۲-۱۴ چرخه‌ی پتاسیم

شکل ۲۶-۱۴، اشکال عمده‌ای را که در آن‌ها پتاسیم در خاک نگهداری گردیده، و تغییراتی را که در چرخه‌ی نظام گیاه و خاک به‌خود می‌گیرد نشان می‌دهد. منابع اصلی پتاسیم کانی‌های اولیه مانند میکا (بیوتیت و مسکویت) و فلدسپار پتاسیم (ارثوکلاز و میکروکلین) می‌باشند. وقتی این کانی‌ها دچار هوازدگی می‌شوند، ساختار لایه‌ای آن‌ها نرم‌تر می‌گردد، برای مثال پتاسیم نگهداری شده در بین لایه‌های بلوری رس نوع ۱:۲ میکا با گذشت زمان، بیشتر قابل استفاده می‌گردد، اول به‌صورت غیرقابل تبادل بوده اما به آهستگی به‌گونه‌ی اشکال قابل تبادل در لبه‌های هوازدگی کانی‌ها، و نهایتاً به‌صورت اشکال دارای سهولت قابلیت تبادل و اشکال موجود در محلول خاک در آمده که در آن‌جا به‌وسیله‌ی ریشه نباتات برداشت می‌شود.

پتاسیم به‌مقدار زیاد به‌وسیله‌ی نبات جذب می‌شود. بسته به نوع بوم‌سامان مورد نظر، بخشی از این پتاسیم از برگ و بار نبات به‌وسیله‌ی آب باران (ریزش از داخل تاج پوشش) آبشویی شده و همراه با بخشی دیگر در پس‌مانده‌های گیاهی به خاک باز می‌گردد. در بوم‌سامان‌های طبیعی، اکثر پتاسیم جذب و یا به‌صورت فضولات (عمدتاً ادرار) از حیواناتی که از نبات تغذیه می‌کنند به خاک باز می‌گردد. بخشی از پتاسیم همراه با ذرات خاک فرسایش یافته شده و یا در داخل رواناب از دسترس خارج شده و بخشی دیگر بر اثر آبشویی به‌داخل آب‌های زیرزمینی از دست می‌رود. در بوم‌سامان‌های کشاورزی از ۱/۵ (در دانه‌ی غلات) تا تقریباً تمام پتاسیم جذب‌شده (نباتات علوفه‌ای) به‌وسیله‌ی نبات ممکن است به بازارهای دورتر حمل گردد که امکان برگشت آن‌ها فراهم نیست.

در هر زمان، بیشتر پتاسیم در کانی‌های اولیه و اشکال غیرقابل تبادل قرار دارد. در خاک‌های نسبتاً حاصلخیز، ممکن است آزادشدن پتاسیم از این اشکال به اشکال قابل تبادل و محلول خاک (که نبات می‌تواند مستقیماً مورد استفاده قرار دهد) به‌اندازه کافی سریع بوده و سبب تأمین پتاسیم کافی برای رشد بهینه‌ی محصول باشد. از طرف دیگر وقتی عملکرد زیادی از محصولات زراعی و یا مقدار چوب زیادی از اراضی برداشت می‌شود، و یا در محل‌هایی که میزان کانی‌های حاوی پتاسیم قابل‌هوازدگی اندک است، میزان پتاسیم قابل تبادل و محلول باید از منابع خارجی مانند کودهای شیمیایی، کود مرغی و خاکستر چوب تأمین گردد. بدون اضافه‌کردن کود، خاک‌ها از پتاسیم قابل‌استفاده در طول سال‌ها تخلیه گردیده و توان تولید خاک نیز به‌همین ترتیب کاهش خواهد یافت.

مثالی از تخلیه و ذخیره‌سازی مجدد پتاسیم قابل استفاده در شکل ۲۷-۱۴ آمده است. کشت‌وکار بدون مصرف کود شیمیایی در طول یک قرن سبب تخلیه پتاسیم قابل تبادل در یک خاک شنی در نیویورک گردید بعد از تخلیه پتاسیم قابل تبادل اراضی در دهه‌ی ۱۹۲۰ رها شدند. در دهه‌های ۱۹۲۰ و ۱۹۳۰ یک جنگل کاج قرمز کشت گردید. درختان در بعضی از کرت‌ها با کود پتاسیم مورد اصلاح قرار گرفتند و این کار سبب بازیافت سریع پتاسیم قابل تبادل به میزان اولیه قبل از شروع کشاورزی در این خاک‌ها، همان‌طور که انتظار می‌رفت، گردید. در جاهایی که حتی به درختان کود شیمیایی داده نشده بود، میزان پتاسیم قابل تبادل در خاک سطحی دوباره، اما با آهنگی کند در طول ۸۰ سال جبران گردید.

جبران مجدد پتاسیم قابل تبادل در کورت‌های مختلف جنگل کودنخورده نمونه‌ای از توانایی گیاهان دائمی برداشت‌نشده مانند جنگل و نیام‌داران مرتمی را در بهبود حاصلخیزی خاک طی زمان به دست می‌دهد. گیاهان چندساله با ریشه‌ی عمیق اغلب همانند تلمبه‌های تخلیه‌ی عناصر غذایی از خاک عمل می‌کنند، پتاسیم را از افق‌های عمیق خاک تحت‌الارضی به داخل نظام ریشه خود جذب کرده، آن‌ها را به برگ‌ها منتقل نموده، و سپس در بازچرخ مجدد از طریق ریزش برگ‌ها و آبشویی باران به سطح خاک بر می‌گرداند (بخش ۴-۱۶ را مشاهده کنید).



(الف)



(ب)



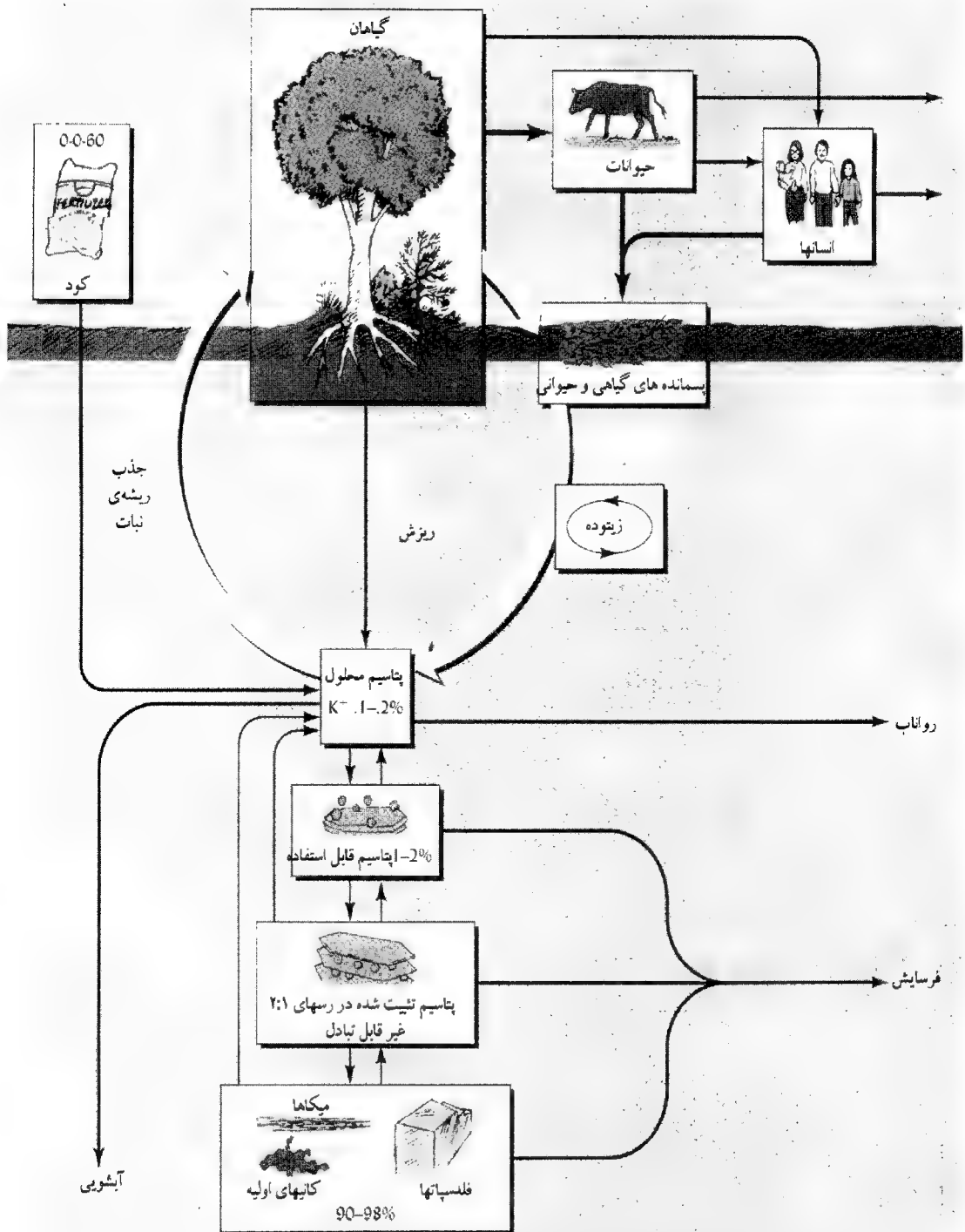
(ج)



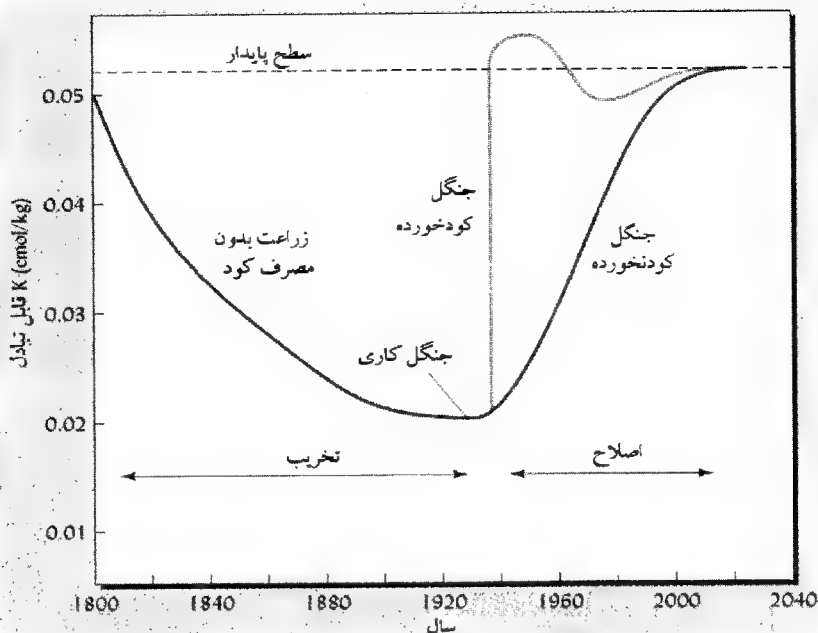
(د)

شکل ۲۵-۱۴ کمبود پتاسیم معمولاً سبب تولید علائم برگ‌ی به‌راحتی قابل تشخیص بر روی برگ‌های قدیمی می‌شود. الف) برگ با حاشیه‌های زرد پرروی (ششاد، ب) حاشیه‌های زرد برگ در سویا، ج) حاشیه‌های پریده‌شده خشک‌شده در برگ‌های پیر موز، د) نقطه خشک سفید کوچک در روی برگچه‌های خمر

در اکثر بوم‌سامان‌های کامل، بیش از هدررفت اندک (۱ تا ۵ کیلوگرم در هکتار) سالانه پتاسیم به‌وسیله‌ی آبشویی و فرسایش پراشر هوادیدگی پتاسیم از کانی‌های اولیه و اشکال غیرقابل تبادل در خاکرخ جبران و به‌وسیله‌ی جابه‌جایی به‌وسیله‌ی پوشش گیاهی به سطح آورده می‌شوند. در اکثر نظام‌های کشاورزی هدررفت ناشی از آبشویی بسیار بیشتر است، زیرا مقادیر پتاسیم قابل تبادل زیادتری معمولاً برای تولید محصول در خاک حفظ می‌گردد، اما ریشه‌های نبات فقط برای قسمتی از سال فعال می‌باشند. بخش‌های بعد جزئیات بیشتری را از واکنش‌های موجود در مورد چرخه‌ی پتاسیم ارائه می‌دهند.



شکل ۲۶-۱۴ اجزای اصلی چرخه‌ی پتاسیم در خاک‌ها، دایره‌ی داخلی بر چرخه‌ی زیستی پتاسیم از محلول خاک به گیاهان و برگشت به خاک از طریق پس‌مانده‌های گیاهی و یا فضولات حیوانی تأکید دارد. کانی‌های اولیه و ثانویه منابع اصلی این عنصر در خاک می‌باشند. پتاسیم قابل تعویض شامل بن‌هایی می‌باشد که به‌وسیله‌ی کلویدهای رس و هموس نگهداری و آزاد می‌شوند، اما پتاسیم یک جزء ساختمانی از هموس خاک نیست. تعامل بین پتاسیم محلول، قابل‌تبادل، غیرقابل‌تبادل و ساختمانی در کانی‌های اولیه نشان داده شده است. حجم اصلی پتاسیم در کانی‌های اولیه و ثانویه قرار داشته و بر اثر فرایند هوابدگی آزاد می‌شود.



شکل ۱۴-۲۷ شیوه کلی تغذیه پتاس قابل تبادل افق A طی دهه‌ها انجام کشاورزی بدون استعمال کود پتاس، ذخیره‌سازی مجدد به‌وسیله پوشش جنگلی. جنگل شامل کاج فرمز بود که بر سری خاک Plain field با بافت شن لومی Udipsamment در ایالت نیویورک آمریکا کشت گردید. این خاک دارای ظرفیت بسیار پایین تبادل کاتیونی و پتاسیم قابل تبادل اندکی می‌باشد.

۱۳-۱۴ مسأله‌ی پتاسیم در حاصلخیزی خاک

قابلیت استفاده‌ی پتاسیم

برخلاف فسفر، پتاسیم در مقادیر نسبتاً بالایی در اکثر خاک‌های معدنی، به‌استثنای خاک‌های که عمدتاً از کوارتز تشکیل شده‌اند، یافت می‌شود. در واقع، مقدار کل این عنصر معمولاً بیشتر از هر عنصر غذایی اصلی دیگر می‌باشد. مقداری در حد ۳۵۰۰۰ تا ۵۵۰۰۰ کیلوگرم در عمق شخم یک هکتار خاک زراعی، به‌هیچ‌وجه غیرمعمول نیست (جدول ۳-۱).

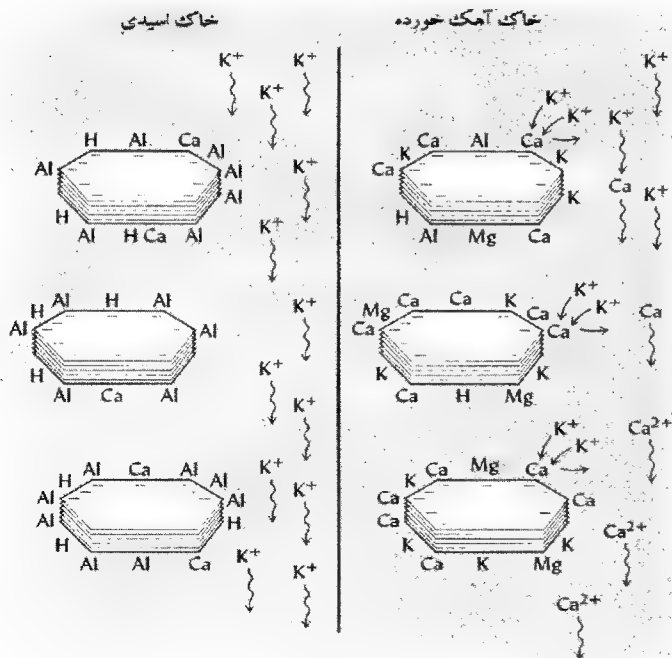
گرچه مقدار پتاسیم نگهداری‌شده در شرایط آسان قابل‌تبادل در هر زمان خاص اغلب بسیار اندک است. اکثر این عنصر به‌طور محکم به‌صورت بخشی از کانی‌های اولیه، نگهداری شده و یا در اشکالی تثبیت شده‌اند که در بهترین حالت از نظر قابلیت استفاده نبات در حد متوسط می‌باشند. بنابراین، شرایط استفاده از پتاسیم حداقل از یک نظر هم‌سو با فسفر و نیتروژن است: بخش بسیار بزرگی از تمام این سه عنصر در خاک‌ها غیرمحلول بوده و برای رشد نبات نسبتاً غیرقابل استفاده می‌باشند.

هدررفت حاصل از آبشویی

پتاسیم بسیار آسان‌تر از فسفر بر اثر آبشویی از دسترس خارج می‌شود. شیرابه‌ی خاک‌هایی که مقدار زیادی کود شیمیایی دریافت می‌دارند دارای مقادیر قابل‌ملاحظه‌ای پتاسیم می‌باشند. هدررفت سالانه‌ی پتاسیم بر اثر آبشویی در خاک‌های شاخص در مناطق مرطوب، که در آن‌ها گیاهان یک‌ساله کشت شده و میزان متوسطی کود شیمیایی دریافت می‌دارند، حدود ۲۵ تا ۵۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. ارقام هدررفت بیشتر در خاک‌های شنی اسیدی معمول است. وقتی آبشویی پتاسیم با جذب یون‌های پتاسیم دارای بار مثبت به‌وسیله محل‌های تبادل دارای بار منفی بر روی سطوح هموس و رس کاهش پیدا نکند، هدررفت بدون شک بیشتر خواهد شد. آهک‌دادن یک خاک اسیدی برای بالا بردن pH می‌تواند هدررفت پتاسیم را به‌خاطر اثر یون مکمل^۱ کاهش دهد (فصل هشتم و شکل ۲۸-۱۴ را مشاهده کنید). سهولت جداسازی یون‌ها از همتافت تبادل در میان عناصر مختلف متفاوتست. یون‌های سه‌ظرفیتی آلومینیوم (Al^{3+}) به‌طور شاخص از یون‌های دوظرفیتی (Mg^{2+} Ca^{2+}) محکم‌تر نگهداری شده‌اند. در خاک آهک‌خورده که مقادیر بالاتری از کاتیون‌های کلسیم و منیزیم وجود دارند، پتاسیم یک‌ظرفیتی بهتر قادر است که

^۱ -Complementary Ion effect

آنها را از همتافت تبادل جایگزین کند. وقتی مقادیر بالاتری از آلومینیوم قابل تبادل همتافت تعادلی را اشباع کرده است، پتاسیم کمتر احتمال جذب شدن^۱ دارد. بنابراین در یک خاک آهک خورده K^+ می‌تواند آسان‌تر بر روی همتافت تبادل نگهداری شود، و آبشویی آن کاهش می‌یابد.



شکل ۲۸-۱۴ تشریح نموداری که چگونه آهک‌دادن یک خاک اسیدی می‌تواند آبشویی پتاسیم را کاهش دهد. این واقعیت که یون‌های K^+ می‌توانند با سهولت هرچه بیشتر یون‌های Ca^{2+} را در مقایسه با یون‌های Al^{3+} جایگزین سازند امکان می‌دهد که مقدار بیشتری یون‌های K^+ از محلولی که آهک داده شده است (مقدار کلیم بیشتر) به وسیله‌ی تبادل کاتیونی خارج گردد. خارج شدن یون K^+ از محلول به وسیله‌ی جذب بر روی کلوئیدها سبب کاهش هدررفت آنها در فرایند آبشویی می‌شود، اما آنها حداقل در این حالت دارای قابلیت استفاده متوسط برای جذب به وسیله‌ی گیاه می‌باشند.

جذب گیاهی و برداشت به وسیله‌ی عملکرد

گیاهان مقادیر زیادی پتاسیم جذب می‌کنند، که اغلب ۵ تا ۱۰ برابر فسفر و در حدود میزان نیتروژن می‌باشد. اگر اکثر یا تمام قسمت‌های گیاه بر روی زمین بر اثر درو برداشت گردد، میزان تخلیه منابع تأمین پتاسیم خاک می‌تواند بسیار زیاد باشد. برای مثال، عملکرد ۶۰ تن در هکتار ذرت سیلویی ممکن است ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم برداشت کند، برداشت الوار از جنگل به طور معمول حدود ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم برداشت می‌کند. اگر تمام درخت برداشت شده قطعه‌قطعه شده و برای صنعت کاغذسازی مصرف گردد، در آن صورت برداشت پتاسیم ممکن است دو برابر شود. یک نبات علوفه‌ای نیامدار با عملکرد بالا ممکن است سالانه ۴۰۰ کیلو پتاس از خاک برداشت کند.

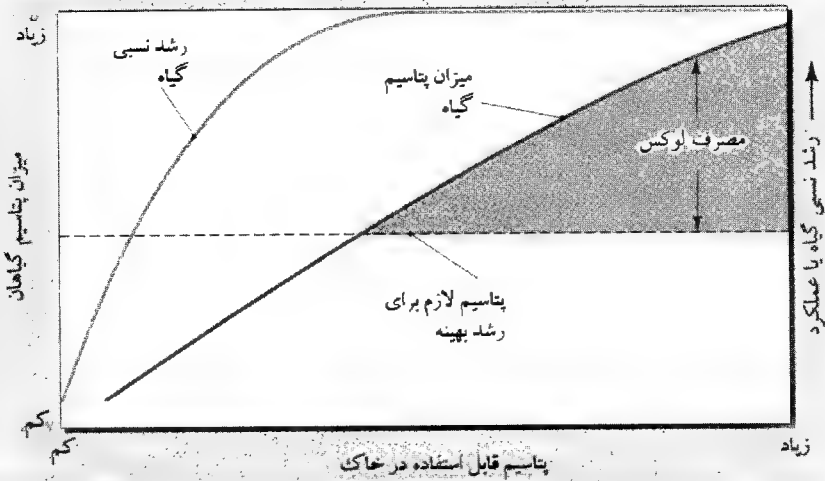
مصرف غیر ضروری (جذب تجملی)^۱

تعمیل نباتات برای جذب پتاسیم محلول فراتر از نیازهای آنها، در صورت وجود مقادیر زیاد پتاسیم، هدررفت آنها را بسیار حادتر می‌سازد. این تعامیل به مصرف خارج از نیاز، مصرف لوکس یا غیر ضروری نامیده می‌شود، زیرا پتاسیم اضافی جذب شده، عملکرد نبات را به هیچ وجه بالا نمی‌برد. اصول موجود در مصرف غیر ضروری به وسیله‌ی نمودار در شکل ۲۹-۱۴ نشان داده شده است. در بسیاری از نباتات، رابطه مستقیمی بین پتاسیم قابل استفاده (مجموع پتاسیم خاک و پتاسیم کود) و برداشت این عنصر به وسیله‌ی گیاهان از خاک موجود است. گرچه یک مقدار مشخص از این عنصر برای رشد لازم است که آنها را پتاسیم مورد نیاز^۲ گویند، پتاسیم جذب شده به وسیله‌ی نبات بالاتر از حد بحرانی مورد نیاز مصرف غیر ضروری و یا لوکس نامیده می‌شود. اگر پس مانده‌های گیاهی به خاک بازگردانده نشوند، برداشت این پتاسیم اضافی به طور قطع هدررفت تلقی خواهد شد. به علاوه، مقادیر زیاد پتاسیم ممکن جذب کلیم را محدود کرده و سبب عدم تعادل غذایی در گیاهان و حیواناتی گردند که آنها را مصرف می‌کنند.

خلاصه این که مسئله پتاسیم دارای سه جنبه است: (۱) بخش بسیار بزرگی از پتاسیم خاک برای گیاهان عالی نسبتاً غیر قابل استفاده می‌باشند، (۲) پتاسیم در معرض هدررفت ناشی از آبشویی قرار می‌گیرد، (۳) برداشت پتاسیم به وسیله‌ی نبات زیاد است، به خصوص اگر مقادیر غیر ضروری برای جذب این عنصر تأمین گردد. با این سوابق و زمینه‌ها، چهره‌های مختلف پتاسیم و در دسترس بودن آنها در خاک‌ها مورد بازبینی قرار خواهد گرفت.

^۱ -Luxury Consumption

^۲ -Required Potassium



شکل ۲۹-۱۴ رابطه‌ی کلی بین مقدار پتاسیم قابل استفاده خاک، رشد نبات و جذب پتاسیم به وسیله‌ی نبات. اگر پتاسیم قابل استفاده در خاک بالاتر از مقداری باشد که برای حداکثر رشد لازم است، بسیاری از نباتات به افزایش جذب پتاسیم بدون هرگونه افزایش رشد ادامه می‌دهند. جذب پتاسیم اضافه بر مقدار پتاسیم لازم برای رشد بهینه مصرف غیرضروری (جذب تجملی) خوانده می‌شود. این مصرف غیرضروری اگر نبات به طور کامل از خاک برداشت شود، اتلاف پتاسیم بوده و ممکن است سبب عدم تعادل در جیره غذایی حیوانات چراکننده گردد.

۱۴-۱۴ اشکال و قابلیت استفاده‌ی پتاسیم در خاک‌ها

در نمودار چرخه‌ی پتاسیم ۴ شکل عمده‌ی پتاسیم خاک نشان داده شده است (شکل ۲۶-۱۴). این اشکال به ترتیب از پایین به بالا عبارتند از: ۱) پتاسیم موجود در ساختمان بلوری کانی‌های اولیه (۲) پتاسیم موجود در موقعیت‌های غیرتبادلی (ثبت شده) در کانی‌های ثانویه (۳) پتاسیم در شکل قابل تبادل بر روی سطوح کلویدهای خاک (۴) یون‌های پتاسیم محلول در آب. مقدار کل پتاسیم در یک خاک، و توزیع پتاسیم در بین این چهار منبع اصلی که در شکل ۲۶-۱۴ نشان داده شده است، عمدتاً تابع نوع کانی رسی موجود در خاک است. خاک‌هایی که رس‌های نوع ۲:۱ در آن‌ها غالب است معمولاً دارای حداکثر پتاسیم و خاک‌هایی که رس کائولینیت در آن‌ها غالب باشد کمترین مقدار پتاسیم را دارا می‌باشند (جدول ۸-۱۴). از نظر قابلیت استفاده برای جذب نبات تفسیر زیر درمورد اشکال مختلف پتاسیم کاربرد دارد.

پتاسیم موجود در کانی‌های اولیه غیرقابل استفاده	پتاسیم قابل تبادل بر روی سطوح کلویدهای خاک به آسانی قابل استفاده
پتاسیم غیرقابل تبادل در کانی‌های ثانویه به کندی قابل استفاده	پتاسیم محلول در آب به آسانی قابل استفاده

جدول ۸-۱۴ اثر رس‌های غالب بر پتاسیم محلول در آب، قابل تبادل و تثبیت شده (غیرقابل تبادل) و کل پتاسیم در خاک (ارقام ارائه شده میانگین بسیاری از خاک‌ها در ۱۰ رده خاک در آمریکا و پورتوریکو می‌باشد)

منبع پتاسیم	کانی‌شناسی غالب خاک		
	کائولینیت (نمونه ۲۶)	مخلوط (نمونه ۵۳)	رس اسمکتیت (نمونه ۲۳)
	میلی گرم در کیلوگرم خاک		
پتاسیم کل	۳۳۴۰	۸۹۲۰	۱۵۷۸۰
پتاسیم قابل تبادل	۴۵	۲۲۴	۱۸۳
پتاسیم محلول در آب	۲	۵	۴

تمام گیاهان می‌توانند اشکال به آسانی قابل استفاده را مصرف کنند اما توانایی برای به دست آوردن پتاسیم نگهداری شده در اشکال دارای کندی قابلیت استفاده و غیرقابل استفاده در میان گونه‌های نباتی متفاوت است. بسیاری از گندمیان با نظام ریشه‌های ظریف افشان خود قادرند

که پتاسیم نگهداری شده در بین لایه‌های رس و در نزدیکی لبه بلورهای میکا و فلدسپات در اندازه رس و لای حذف کنند. تعداد محدودی از نباتات مانند علف فیل *Pennisetum purpureum scham* که در خاک‌های شنی با حاصلخیزی کم سازگار می‌باشند قادرند پتاسیم را از کانی‌های اولیه حتی در اندازه شن (شکلی از پتاسیم که معمولاً به‌عنوان غیرقابل استفاده مورد نظر می‌باشد) به‌دست آورند.

اشکال پتاسیم نسبتاً غیرقابل استفاده

۹۸-۹۰ درصد کل پتاسیم خاک در یک خاک معدنی در اشکال تقریباً غیرقابل استفاده قرار دارد (شکل ۲۶-۱۴). ترکیبات شامل این اشکال پتاسیم فلدسپات‌ها و میکاها می‌باشند. این کانی‌ها به هوادهی کاملاً مقاوم بوده و مقادیر نسبتاً کمی پتاسیم در یک فصل زراعی به‌خصوص تأمین می‌کنند. هرچند آزادشدن تجمعی پتاسیم از آن‌ها در طول سال‌ها بدون شک تا حدی اهمیت دارد. این آزادشدن تحت تأثیر عمل حل کردن اسیدکربنیک و اسیدهای قوی‌تر آلی و معدنی، و همچنین رس‌های اسیدی و هموس صورت می‌گیرد (بخش ۳-۲ را مشاهده کنید). همان‌طور که قبلاً اشاره رفت، ریشه‌ی بعضی از نباتات می‌تواند بخش قابل توجهی از پتاسیم موردنیاز خود را از این کانی‌ها، با خارج ساختن یون‌های پتاسیم محلول در اطراف لبه کانی‌ها و آماده‌ساختن شرایط انحلال کانی، به‌دست آورند.

اشکال پتاسیم به آسانی قابل استفاده

فقط حدود ۲-۱ درصد پتاسیم کل خاک به آسانی قابل استفاده است، پتاسیم قابل استفاده در خاک‌ها در دو شکل موجود می‌باشند: ۱) در داخل محلول خاک و ۲) پتاسیم قابل تبادل جذب شده بر روی سطوح کلوئیدهای خاک. گرچه بیشترین مقدار این اشکال پتاسیم، در شکل قابل تبادل است (حدوداً ۹۰ درصد)، پتاسیم محلول خاک به آسانی هرچه بیشتر به وسیله گیاهان عالی جذب می‌شود، اما متأسفانه در معرض هدررفت ناشی از آیشویی قرار می‌گیرد.

همان‌طور که در شکل ۲۶-۱۴ آمده است، این دو شکل پتاسیم دارای قابلیت استفاده‌ی آسان در یک تعادل پویا می‌باشند. این تعادل دارای اهمیت عملی فوق‌العاده زیادی است. وقتی گیاهان پتاسیم را از محلول خاک جذب می‌کنند، بخشی از پتاسیم قابل تبادل بلافاصله به داخل محلول خاک حرکت می‌کند تا آن‌که تعادل مجدداً برقرار گردد. وقتی کودهای شیمیایی محلول در آب اضافه شوند، محلول خاک از پتاسیم غنی شده و عکس عمل فوق صورت می‌پذیرد. یعنی پتاسیم از محلول خاک بر روی همتافت تبادل حرکت می‌کند. پتاسیم قابل تبادل می‌تواند به‌صورت یک سازوکار پشتیبان برای پتاسیم محلول خاک مورد نظر قرار گیرد.

اشکال پتاسیم به‌کندی قابل استفاده

با حضور کانی‌های ورمی‌کولیت، اسمکتیت، و سایر کانی‌های نوع ۲:۱ یون‌های K^+ موجود (و همین‌طور یون‌های NH_4^+ هم‌اندازه با K^+) در محلول خاک (و یا اضافه‌شده به‌صورت کود شیمیایی) نه تنها جذب شده بلکه به وسیله کلوئیدهای خاک به‌طور مشخص، تثبیت می‌شوند (شکل ۳۰-۱۴). یون‌های پتاسیم (و یون‌های آمونیوم) با فضای بین لایه‌ای بلورهای رس قابل انبساط معمولی تناسب داشته و به بخشی از بلور تبدیل می‌گردند. این یون‌ها نمی‌توانند با فرایندهای معمولی تبادل جایگزین گردند، و بنابراین، به آن‌ها یون‌های غیرقابل تبادل گفته می‌شود، بدین ترتیب آن‌ها به آسانی برای اکثر گیاهان عالی قابل استفاده نمی‌باشند. این شکل پتاسیم با اشکال دارای قابلیت استفاده آسان بیشتر در تعادل بوده و بنابراین همانند یک منبع مهم از عناصر غذایی به‌کندی قابل استفاده عمل می‌کنند (شکل ۳۱-۱۴).

آزادشدن پتاسیم تثبیت‌شده

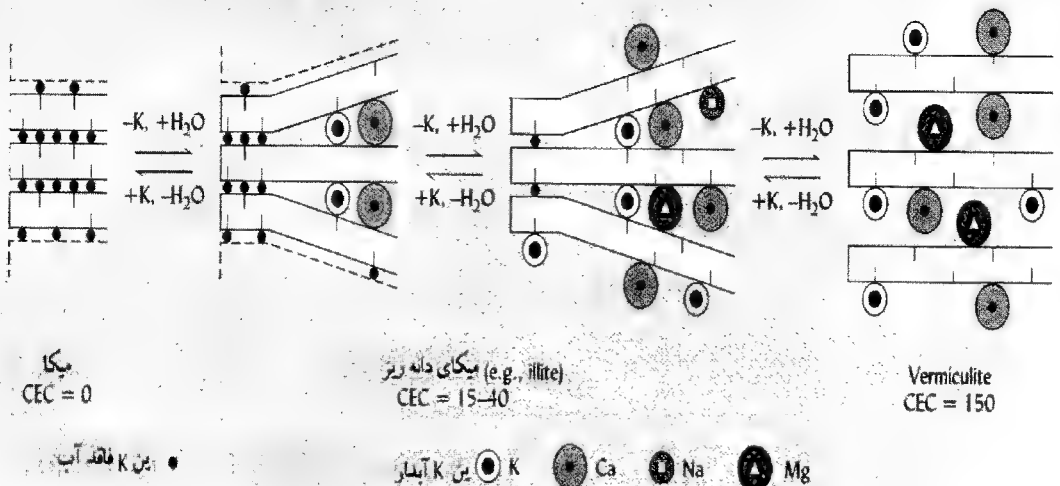
مقدار پتاسیم غیرقابل تبادل و یا تثبیت‌شده در بعضی از خاک‌ها کاملاً زیاد است. پتاسیم تثبیت‌شده در این خاک‌ها به‌طور مداوم به‌صورت قابل تبادل در مقادیر کاملاً زیاد، که دارای اهمیت عملی فراوانی می‌باشند آزاد می‌شوند. اطلاعات جدول (۹-۱۴) اهمیت آزادشدن پتاسیم غیرقابل تبادل را در خاک‌های خاص معلوم می‌کند. در این خاک‌ها، پتاسیم برداشت‌شده به وسیله گیاهان به‌طور عمده از اشکال غیرقابل تبادل تأمین شده است. تعادل کلی ممکن است برای پتاسیم به‌صورت زیر بیان گردد:



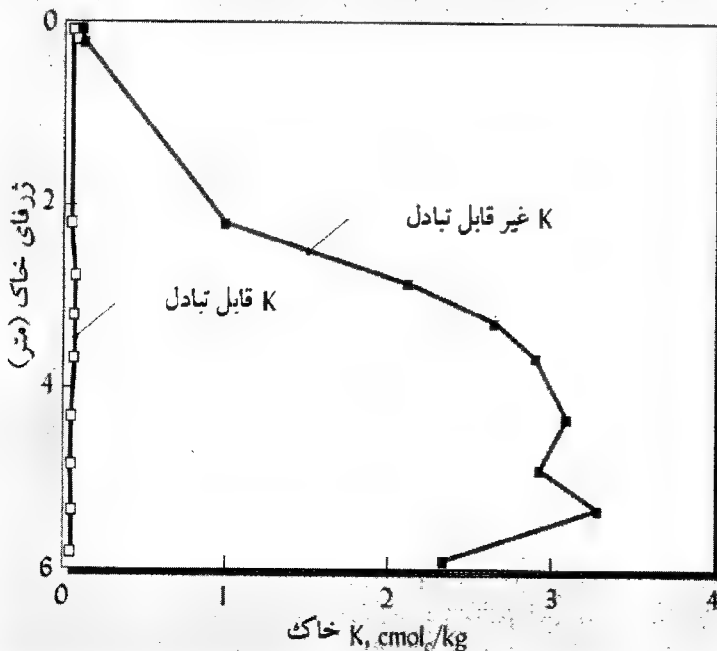
با توجه به نتیجه‌ی رابطه فوق خاک‌های خیلی شنی با CEC پایین در ارتباط با پتاسیم دارای پشتیبانی^۱ ضعیفی می‌باشند. ممکن است غلظت یون پتاسیم در ابتدای فصل رشد و یا درست بعد از کوددادن کاملاً بالا باشد، اما گیاهان پتاسیم حل‌شده در محلول خاک را در طول

^۱ -Buffering

فصل رشد برداشت می‌کنند. این خاک‌ها دارای ظرفیت اندکی برای حفظ غلظت پتاسیم بوده و ممکن است کمبود پتاسیم در آخر فصل حاصل گردد. در خاک‌های بافت ریز با CEC بیشتر (و بنابراین ظرفیت پشتیبانی بیشتر) ممکن است غلظت اولیه پتاسیم محلول تا حدی پایین باشد، اما خاک قادر است تأمین یون پتاسیم محلول را در سرتاسر فصل رشد به‌طور کاملاً پایدار حفظ کند.



شکل ۳۰-۱۴ تشریح نموداری آزاد شدن و تثبیت پتاسیم بین کانی‌های اولیه، میکای دانه‌ریز (رس ایلیت)، و ورمی‌کولیت. در نمودار آزاد شدن پتاسیم به‌طرف راست پیش می‌رود درحالی‌که فرایند تثبیت به‌سوی چپ پیش می‌رود. توجه کنید که یون پتاسیم آب از دست داده بسیار کوچک‌تر از یون‌های آبدار Ca^{2+} ، Na^+ و غیره می‌باشد. بنابراین وقتی پتاسیم به‌خاکی که دارای کانی‌های نوع ۲:۱ مانند ورمی‌کولیت است داده شود، واکنش ممکن است به سمت چپ پیش رود و یون‌های پتاسیم به‌شدت در بین لایه‌ها در داخل بلور تثبیت شده و یک ساختمان میکای بافت زیر را ایجاد کند. یون‌های آمونیوم دارای اندازه و بار مشابه یون پتاسیم بوده و ممکن است به‌وسیله‌ی واکنش مشابه تثبیت گردند.



شکل ۳۱-۱۴ میزان پتاسیم قابل‌تبادل و غیرقابل‌تبادل در خاک التی‌سول در کارولینای جنوبی پس از ۳۰ سال کشت کاج لابلالی به‌دنیاال ۱۵۰ سال کشت وکار. اگر چه میزان پتاسیم قابل‌تبادل کاملاً پایین بود، رشد درختان به‌طور منفی تحت تأثیر قرار نگرفت و مقادیر زیادی از این عنصر به‌وسیله‌ی درختان در طول ۳۰ سال برداشت گردید. این امر با تبدیل پتاسیم غیرقابل‌تبادل به شکل قابل‌تبادل بود که به‌آسانی به‌وسیله‌ی ثبات جذب گردید. افق‌های بالایی ممکن است تا حدی از پتاسیم قابل‌تبادل تخلیه شده باشد، اما ریشه عمیق درختان قادر بود که پتاسیم آزادشده را از شکل غیرقابل‌تبادل افق‌های زیر مورد استفاده قرار دهد.

جدول ۹-۱۴ پتاسیم برداشت‌شده با زراعت بسیار متمرکز و مقدار این عنصر که از شکل غیرقابل تبادل پتاسیم به دست می‌آید

خاک	کل پتاسیم مصرف‌شده به وسیله ی نبات kg/ha	درصد پتاسیم حاصل از شکل غیرقابل تبادل
خاک‌های ایالت ویسکانسین		
لوم سیلتی کارینگتون	۱۳۳	۷۵
لوم سیلتی اسپنسر	۶۶	۸۰
شن پلاتیفیلد	۹۹	۲۵
خاک‌های می‌سی‌سی‌پی		
لوم سیلتی ریز روبنسون‌ویل	۱۲۱	۳۳
رس هیوستون	۶۴	۴۷
لوم شنی روستون	۴۷	۲۴

۱۵-۱۴ عوامل مؤثر در تثبیت پتاسیم در خاک‌ها

چهار نوع شرایط خاک به‌طور چشم‌گیری در مقدار پتاسیم تثبیت‌شده مؤثر می‌باشند که عبارتند از: ۱- سرشت کلویدهای خاک ۲- خشک و مرطوب شدن خاک ۳- یخ‌بستن و ذوب یخ ۴- وجود آهک به‌تعداد زیاد

تأثیر نوع رس و رطوبت

توانایی کلویدهای مختلف خاک در تثبیت پتاسیم بسیار متفاوتست. کائولینیت و دیگر رس‌های نوع ۱:۱ پتاسیم اندکی را تثبیت می‌کنند. از طرف دیگر رس‌های نوع ۲:۱ مانند رومی کولیت، میکای بافت ریز (ایلیت) و اسمکتیت پتاسیم را بسیار به‌آسانی و به‌مقدار زیاد تثبیت می‌کنند. بخش‌هایی، حتی در اندازه لای در بعضی از کانی‌های میکا سبب تثبیت و سپس آزاد شدن پتاسیم می‌گردند. یون‌های پتاسیم و آمونیوم در بین لایه‌های بلوری‌های رسی دارای بار منفی جذب می‌شوند. بیشترین تمایل برای جذب در کانی‌هایی موجود است که بخش عمده بار منفی در صفحه سیلیس (چهاروجهی) قرار دارد. بنابراین رومی کولیت دارای ظرفیت بیشتری از مونت‌موریلونیت برای تثبیت پتاسیم و آمونیوم می‌باشد (جدول ۵-۸ را برای فرمول این کانی‌ها مشاهده کنید).

مشخص شده است که تناوب خشک‌شدن-ترشدن و یا یخ زدن و ذوب یخ هم سبب تثبیت پتاسیم در اشکال غیرقابل تبادل و همین‌طور آزاد شدن پتاسیم از قبل تثبیت‌شده به محلول خاک می‌گردد. گرچه اهمیت عملی این فرایند مورد تشخیص قرار گرفته اما سازوکار آن هنوز به‌خوبی معلوم نشده است.

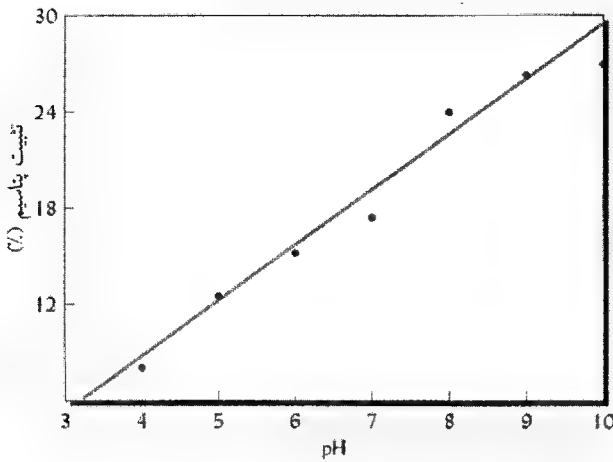
تأثیر pH

مصرف آهک بعضی مواقع سبب تثبیت پتاسیم در خاک‌ها می‌شود (شکل ۳۲-۱۴). همان‌طور که قبلاً نیز اشاره رفت، این امر تعجب‌آور نیست زیرا در خاک‌ها دارای اسیدیته قوی یون‌های H^+ و Al^{3+} هیدراته از اشتراک نزدیک یون‌های پتاسیم با سطح کلویید ممانعت نموده و حساسیت آن‌ها را به تثبیت کاهش می‌دهند. با افزایش PH یون‌های H^+ و Al^{3+} هیدراته جدا شده و یا خشی می‌شوند و برای یون پتاسیم جابه‌جایی به نزدیک سطوح کلوییدی آسان‌تر گردیده و در آن‌جا حساسیت به تثبیت در رس‌های نوع ۲:۱ افزایش می‌یابد. در خاک‌هایی که بار منفی کلویید وابسته به pH است، آهک‌دادن سبب افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، و در نتیجه، افزایش جذب پتاسیم به‌وسیله کلویدها و کاهش میزان پتاسیم در محلول می‌شود (شکل ۳۳-۱۴).

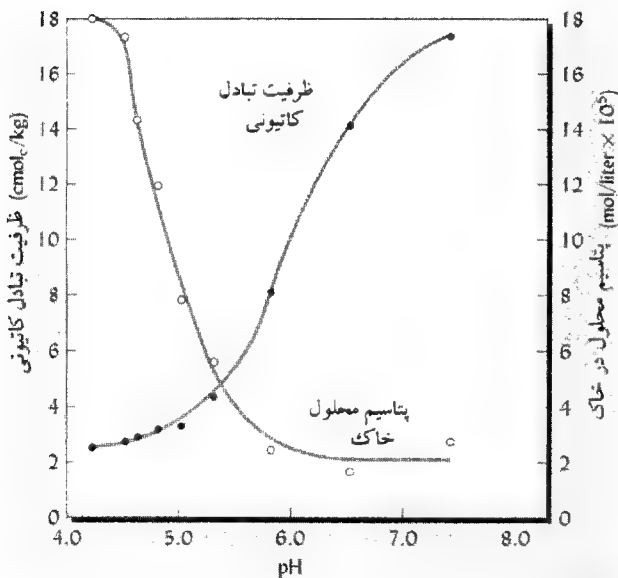
به‌علاوه ممکن است وجود مقدار زیاد یون‌های کلسیم و منیزیم در محلول خاک جذب پتاسیم را به‌وسیله ی نبات کاهش دهد. زیرا این کاتیون‌ها تمایل دارند که برای جذب شدن به‌وسیله ی ریشه‌ها با همدیگر رقابت کنند. از آن‌جاکه جذب یون پتاسیم به‌وسیله ی ریشه نبات تحت تأثیر فعالیت سایر یون‌ها در محلول خاک است، بعضی از صاحب‌نظران ترجیح می‌دهند که برای تعیین میزان پتاسیم قابل‌استفاده در محلول به‌جای غلظت پتاسیم محلول از نسبت زیر استفاده کنند.

$$\frac{[K^+]}{\sqrt{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]}}$$

نهایتاً، کمبود پتاسیم اغلب در خاک‌های آهکی صورت می‌گیرد حتی وقتی که مقدار پتاسیم قابل تبادل موجود در حد بسندگی آن برای تغذیه‌ی نبات در سایر خاک‌ها باشد. ممکن است تثبیت پتاسیم و همین‌طور نسبت کاتیون‌ها دلیل این اثرات منفی در خاک‌های غنی از کربنات کلسیم باشد.



شکل ۱۴-۳۲ تأثیر pH بر تثبیت پتاسیم در خاک‌های هندوستان



شکل ۱۴-۳۳ تأثیر افزایش pH ناشی از مصرف آهک بر ظرفیت تبادل کاتیونی وابسته به pH و میزان پتاسیم در محلول خاک. با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)، بخشی از پتاسیم محلول خاک جذب کلویدهای تثبیت‌کننده می‌شوند.

۱۴-۱۶ جنبه‌های عملی مدیریت پتاسیم خاک

مسئله‌ی حاصلخیزی پتاسیم، به غیر از خاک‌های خیلی شنی در رابطه با پتاسیم کل خاک نبوده اما در ارتباطی خوب با میزان تغییر شکل از اشکال غیرقابل استفاده می‌باشند. وقتی مقدار برداشت گیاهی اندک است (جنگل‌ها، مراتع و بعضی سامانه‌های زیتی)، چرخه‌ی پتاسیم در بین خاک و نبات برای تداوم رشد نبات کافی می‌باشد. هرچند هنگام برداشت محصول، به‌خصوص اگر پس‌مانده‌های گیاهی برگشتی به خاک اندک باشد، آن‌گاه چرخه‌ی پتاسیم در نظام گیاه خاک باید به‌وسیله‌ی آزاد شدن مقداری پتاسیم از اشکال معدنی با قابلیت استفاده کمتر، و تا حدی، با کوددادن کامل گردد.

رشد سریع نباتات حاوی پتاسیم زیاد تقاضای بالایی را برای تأمین پتاسیم قابل استفاده مطرح می‌کند. هرچند میزان جذب پتاسیم ثابت نبوده و با مرحله رشد نبات و فصل تغییر می‌کند. اگر عملکرد زیادی در نیام‌داران علوفه‌ای مانند یونجه مورد انتظار است، خاک باید قادر باشد پتاسیم مورد نیاز را برای میزان‌های جذب زیاد، در طول دوره‌های خاص تأمین کند، و در نتیجه نیاز به مصرف کود، حتی در خاک‌هایی که دارای مقادیر زیاد کانی‌ها با قابلیت هوادهی است زیاد می‌باشد. هرچند برای حفظ سلامت انسان و دام از مقادیر زیاد پتاسیم که سبب کاهش کلسیم و منیزیم در گیاهان علوفه‌ای می‌گردند، باید اجتناب کرد.

تکرار دفعات مصرف کود

اگرچه مصرف سنگین کود هرچند سال یک‌بار آسان‌ترین روش تأمین پتاسیم است، اما تکرار در دفعات مصرف سبک دارای مزایای کاستن مصرف افزون بر نیاز پتاسیم در بعضی نباتات، کاهش هدررفت بر اثر آبشویی و کاستن فرصت تثبیت در اشکال غیرقابل استفاده قبل از امکان استفاده گیاه از کود مصرف شده می‌باشد. اگر چه این تثبیت دارای چهره‌های حفاظتی خاص است. در اکثر موارد نفع آن کمتر از ضرر حاصل از آبشویی و یا مصرف لوکس می‌باشد.

توان تأمین پتاسیم به‌وسیله‌ی خاک‌ها

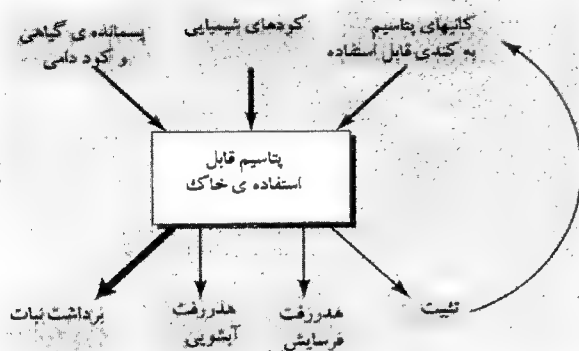
از توان تأمین پتاسیم خاک‌ها باید بهره کامل گرفته شود. ممکن است این باور که هر کیلوگرم پتاس برداشت شده به‌وسیله‌ی نبات و یا آبشویی شده باید از طریق مصرف کود به‌خاک بازگردد همیشه درست نباشد. در بسیاری از خاک‌ها مقادیر زیادی از اشکال دارای قابلیت استفاده متوسط موجود قبلی می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند، بنابراین فقط بخشی از کل پتاس مصرف‌شده بر اثر برداشت محصول نیاز به جبران به‌وسیله‌ی کود شیمیایی دارد. به‌علاوه از اهمیت مصرف آهک در کاهش هدررفت پتاسیم ناشی از آبشویی به‌عنوان وسیله‌ای برای استفاده از توان خاک‌ها در تأمین این عنصر نباید چشم‌پوشی کرد.

در خاک‌های مناطق خشک، کانی‌های حاوی پتاسیم قابل‌هوادیدگی به‌خوبی تأمین شده است و بنابراین، می‌توانند پتاسیم کافی را برای سال‌های متمادی، حتی در خاک‌های تحت آبیاری که آبشویی پتاس خیلی مهم و برداشت نبات خیلی بالاست به‌خوبی عرضه کند. گرچه برداشت مرتب نبات می‌تواند سبب تخلیه‌ی منابع قابل‌استفاده پتاسیم حتی در این خاک‌ها گردد. همچنین ممکن است گیاهان دارای ریشه‌ی عمیق مانند پنبه و درختان میوه برای تأمین بیشتر پتاسیم مورد نیاز خود به خاک تحت‌الارض متکی باشند. افزایش قابلیت استفاده‌ی این عنصر در اعماق پایین‌تر از شخم مشکل می‌باشد.

دست‌آورد و هدررفت پتاسیم

مسأله‌ی حفظ پتاسیم خاک به‌طور نموداری در شکل ۳۴-۱۴ آمده است. برداشت پتاسیم به‌وسیله‌ی نبات معمولاً از سایر عناصر غذایی اصلی، احتمالاً به‌استثنای نیتروژن فزون‌تر است. هدررفت سالانه بر اثر برداشت نبات تا حد ۴۰۰ کیلوگرم پتاسیم یا بیشتر غیرعادی نیست، به‌خصوص اگر نبات نایم‌دار بوده و چندین چین برداشت گردد. همان‌طور که انتظار می‌رود، برگرداندن پس‌مانده‌های گیاهی و کود دامی در حفظ پتاسیم خاک بسیار با اهمیت می‌باشد.

هدررفت سالانه‌ی پتاسیم قابل‌استفاده بر اثر آبشویی و فرسایش به مراتب از نیتروژن و فسفر فزون‌تر است. هرچند این تلفات درمقایسه به‌اندازه‌ی تلفات مشابه کلسیم و منیزیم نمی‌باشد. چنین تلفات عناصر غذایی، اثرات جدی بر توان تولید پایدار خاک دارد.



شکل ۳۴-۱۴ دست‌آورد و هدررفت پتاسیم قابل‌استفاده خاک در تحت شرایط متوسط مزرعه. بزرگی تقریبی تغییرات به‌وسیله‌ی ضخامت پیکان‌ها نشان داده شده است. برای هر مورد خاص بدون شک ممکن است مقدار واقعی پتاسیم افزوده و یا تلف شده از این نمونه به‌طور قابل ملاحظه‌ای متفاوت باشد. همان‌طور که در مورد نیتروژن و فسفر نیز گفته شد، کودهای شیمیایی در برآورد نیازهای گیاهی بسیار مهم می‌باشند.

استفاده بیشتر از کودهای پتاسه

استفاده‌ی بیشتر از کودهای پتاسه در مقیاس جهانی با خالی‌شدن انبارهای پتاسیم قابل‌استفاده خاک و برآورده نشدن انتظارات افزایش عملکرد محصولات تنها با هوادیدگی کانی‌های خاک همچنان تداوم خواهد یافت. در مناطق با کشت‌های نقدی^۱ و در اراضی با خاک‌های شنی و یا خاک‌های خیلی هوازده این مسأله به‌خصوص صادق است. شکل ۱-۱۴ نشان می‌دهد که زارعین در آمریکا استفاده از کود پتاسیم را در طول سال‌های زیادی تا سال ۱۹۸۰ افزایش دادند، تا جایی که توان عرضه پتاسیم خاک‌ها (به‌طور متوسط) به سطحی رسید که فقط

^۱ -Cash Crop

اضافه کردن کود در حد حفظ نگهداری این توان مورد نیاز بود. این سطح نگهداری در بسیاری از مناطق حداقل نصف سطح برداشت متوسط پتاسیم است (جبران نصف دیگر برداشت به وسیله پتاسیم آزاد شده از معدنی شدن کانی‌ها انجام می‌شود). در مناطق کشاورزی کمتر توسعه یافته جهان مصرف کود پتاسه در طول بسیاری از سال‌های آبی برای افزایش و یا حفظ عملکرد فعلی باید افزایش یابد.

۱۷-۱۴ نتیجه گیری نهایی

فسفر خاک یک شمشیر دولبه است، مدیریت آن از نقطه نظر محیط زیست و حاصلخیزی خاک فوق العاده مهم می‌باشد. از یک طرف فسفر خیلی کم معمولاً سبب محدودیت توان تولید بوم سامان‌های طبیعی و کشاورزی و تخریب گسترده‌ی خاک و محیط خواهد شد. اما از طرف دیگر کشاورزی صنعتی سبب تمرکز فسفر بسیار زیادی در بعضی موارد شده است که هدررفت آن از خاک‌ها سبب غنی شدن شدید در آب‌های سطحی بوده است. بعضی از این موقعیت‌ها به علت تجمع فسفر خاک بر اثر مصرف کودهای شیمیایی و بعضی دیگر در نتیجه تمرکز تولیدات حیوانی بوده است، به طوری که فسفر موجود در کود دامی در بسیاری از دامداری‌ها بسیار بیشتر از مصرف در اراضی زراعی نزدیک این دامداری‌ها می‌باشد.

به جز در مواردی که فسفر در خاک تجمع پیدا کرده است قابلیت استفاده آن برای ریشه نبات با دو مشکل همراه است. سطح پایین فسفر کل، و درصد اندک قابلیت استفاده این فسفر. به علاوه، در صورت اضافه کردن فسفات‌های محلول به خاک، آن‌ها به سرعت به اشکال غیر محلول تبدیل شده و در آن وقت برای نباتات در حال رشد غیر قابل استفاده می‌باشد. در خاک‌های اسیدی فسفر عمدتاً به وسیله آهن، آلومینیوم و منگنز و در خاک‌های قلیایی به وسیله کلسیم و منیزیم تثبیت می‌شود. این تثبیت سبب کاهش شدید کارایی کود شیمیایی فسفره گردیده و مقدار اندکی از فسفر مصرف شده جذب نبات می‌گردد. این فسفر استفاده نشده طی زمان در خاک تجمع یافته و به عنوان مخزن ذخیره برای جذب گیاه عمل خواهد کرد.

مقدار پتاسیم معمولاً در خاک‌ها فراوان است، اما آن نیز، در اشکالی می‌باشد که برای جذب نبات کاملاً غیر قابل استفاده است. هرچند، خوشبختانه، بعضی از خاک‌ها دارای مقادیر زیادی اشکال غیر قابل تبادل اما به آرامی قابل استفاده از این عنصر می‌باشند. با گذشت زمان، این پتاسیم می‌تواند به صورت اشکال قابل تبادل و محلول در آب درآید که می‌تواند به سرعت به وسیله ریشه نبات جذب گردد. این جای خوشبختی است، زیرا نیازهای نبات برای پتاسیم بالاست و ۵ تا ۱۰ برابر فسفر و مشابه نیتروژن می‌باشد.

سوالات برای مطالعه

- ۱- شما یاد گرفتید که نیتروژن، پتاسیم و فسفر همگی در خاک تثبیت می‌شوند، این فرایندهای تثبیت را باهم مقایسه کرده و مزایا و محدودیت‌های هر یک را بیان کنید.
- ۲- فرض کنید که شما یک کود فسفات محلول را در یک اکسی سول و یک اوبیدی سول مصرف کرده‌اید. در هر مورد، طی چند ماه اکثر فسفر به اشکال غیر قابل استفاده تبدیل شده است. مشخص کنید این اشکال کدام‌ها هستند، و ترکیبات موجود در هر خاک برای تبدیل آن‌ها چه بوده است.
- ۳- میزان فسفر اراضی زراعی در مقایسه با خاک‌های جنگلی نزدیک آن‌ها در آمریکا، که هرگز قطع کامل نشده‌اند چگونه است. دلیل این اختلاف چیست؟
- ۴- منظور از غنی شدن (Eutrophication) چیست و چگونه تحت عملیات زراعی از جمله مصرف فسفر، تحت تأثیر قرار خواهد گرفت؟
- ۵- کدام یک از خاک‌های لوم و رسی دارای ظرفیت بافری بالاتری از نظر فسفر و پتاسیم می‌باشد؟ توضیح دهید.
- ۶- در بهار یک خاک سطحی دارای آزمون خاکی بدین شرح بود: پتاسیم محلول خاک 20 kg/ha ، پتاسیم قابل تبادل 200 کیلوگرم در هکتار. بعد از برداشت دو چین علف یونجه که دارای 250 کیلوگرم پتاسیم بود آزمون دوم نشان داد که پتاسیم محلول 15 kg/ha و پتاسیم قابل تبادل 150 kg/ha می‌باشد توضیح دهید چرا کاهش بیشتری در پتاسیم محلول و قابل تبادل به وجود نیامد.
- ۷- اثر pH خاک بر قابلیت استفاده فسفر چیست و اشکال غیر قابل استفاده در سطوح مختلف pH کدام می‌باشند.
- ۸- مصرف افزون بر نیاز عناصر غذایی چیست و مزایا و مشکلات آن را بیان کنید.
- ۹- چگونه فسفری که ترکیبات معدنی نامحلول در خاک ایجاد می‌کند. نهایتاً به جویبارها و سایر آبراه‌ها راه خواهد یافت؟
- ۱۰- مخلوط کردن کلش زیاد گندم در خاک سبب کاهش فسفر در کشت‌های بعدی خواهد شد. دلیل احتمالی آن کدام است.
- ۱۱- مقادیر فسفر آبی را در لایه‌های فوقانی یک خاک جنگلی با خاک نزدیک آن که برای ۲۵ سال در آن کشت و کار می‌شود مقایسه کرده و تفاوت آن‌ها را تشریح نمایید.

نگاه کن، آنرا خواهی یافت
آنچه بافت می‌نشود، در فکر نگنجد.
سوفوکل

فصل ۱۵

عناصر کم مصرف

از ۱۸ عنصر اساسی که در رشد نبات مشخص شده‌اند. ۹ عنصر در مقادیر اندک مورد نیاز می‌باشند که به آن‌ها عناصر کم مصرف^۱ یا عناصر نادر اطلاق می‌گردد. این عناصر عبارتند از آهن، منگنز، روی، مس، بر، مولیبدون، نیکل، کبالت و کلر. به نظر می‌رسد که سایر عناصر مانند سیلیس، وانادیم و سدیم حداقل سبب بهبود رشد بعضی از گونه‌های نباتی گردند. حیوانات از جمله انسان‌ها، به اکثر این عناصر غذایی در جیره‌ی غذایی خود نیازمندند. بعضی از عناصر مانند سلنیم، کرم، قلع، ید و فلور مشخص شده‌اند که برای رشد حیوانات اساسی بوده، اما ظاهراً مورد نیاز نباتات نمی‌باشند.

از واژه‌گان عناصر کم مصرف و عناصر کم یاب نباید استنباط کرد که این عناصر از عناصر پر مصرف کمتر اهمیت دارند، برعکس، اثرات کمبود این عناصر از نظر محدود کردن رشد، عملکرد پایین و حتی مرگ نبات می‌تواند خیلی شدیدتر باشد. ممکن است مصرف مقادیر اندک از عناصر کم مصرف نتایج شگرفی به بار آورد.

توجه روبه‌فزونی به کمبود عناصر کم مصرف به دلایل چندی معطوف گردیده که عبارتند از :

- ۱- عملیات پرنهاده‌ی تولید^۲، سبب افزایش عملکرد نبات و برداشت هرچه بیشتر عناصر کم مصرف از خاک شده است.
 - ۲- روند استفاده از کود شیمیایی با درصد بالایی از عناصر غذایی مشخص، استفاده از مواد ناخالص و کود دامی را که قبلاً بخش قابل توجهی از عناصر کم مصرف را دربرداشتند کاهش داده است.
 - ۳- دانش بیشتر در مورد تغذیه‌ی نبات و روش‌های پیشرفته تجزیه در آزمایشگاه در تشخیص کمبود عناصر کم مصرف، که قبلاً از آن بی‌خبر بودیم به ما کمک کرده است.
 - ۴- شواهد بیشتر حاکی از این است که محصولات غذایی به‌دست‌آمده بر روی خاک‌هایی که دارای مقادیر کمی عناصر کم مصرف هستند، ممکن است سطح تغذیه‌ی ناکافی را برای انسان درمورد عناصر خاص فراهم آورند، گرچه ممکن است نبات خود علایم کمبود را ظاهر نسازد. عناصر کم مصرف، همچنین به‌خاطر مسائل سمیت حاصل از عرضه‌ی بیش‌ازحد آن‌ها مورد توجه قرار گرفته‌اند، میزان سمیت عناصر کم مصرف برای گیاهان و یا حیوانات ممکن است ناشی از شرایط طبیعی خاک، آلودگی و یا عملیات مدیریت خاک باشد.
- این فصل بعضی از سوابق و روش‌های مورد نیاز را برای تشخیص و برخورد با کمبودها و سمیت‌های مختلف که در دامنه‌ی گسترده‌ای از سامانه‌های خاک-گیاه با آن مواجه می‌باشیم، فراهم می‌نماید.

۱-۱۵ کمبود در مقابل سمیت

بدیهی است، هر چیزی که بیش از میزان کافی جذب گردد، می‌تواند سمی باشد. در مقادیر اندک یک عنصر غذایی، کمبود و کاهش رشد گیاهی ممکن است صورت پذیرد (دامنه کمبود)^۳، وقتی مقدار عنصر غذایی افزایش یابد گیاهان با جذب عناصر غذایی بیشتر و افزایش رشد به‌خوبی عکس‌العمل نشان می‌دهند تا این که به سطح قابلیت استفاده یک عنصر که برای برآورد نیازهای گیاه مورد نظر کافی باشد (دامنه کفایت)^۴ دسترسی یابیم، افزایش بیشتر از آن سطح اثر اندکی بر رشد نبات دارد گرچه عنصر ممکن است در اندام‌های نباتی به افزایش خود ادامه دهد. در بعضی از سطوح قابلیت استفاده، گیاه عناصر غذایی بیشتری را از آن‌چه لازم دارد جذب می‌کند (دامنه سمیت)^۵، و سبب بروز واکنش‌های فیزیولوژیکی منفی خواهد شد رابطه بین این سطوح سه‌گانه در شکل ۱-۱۵ آمده است.

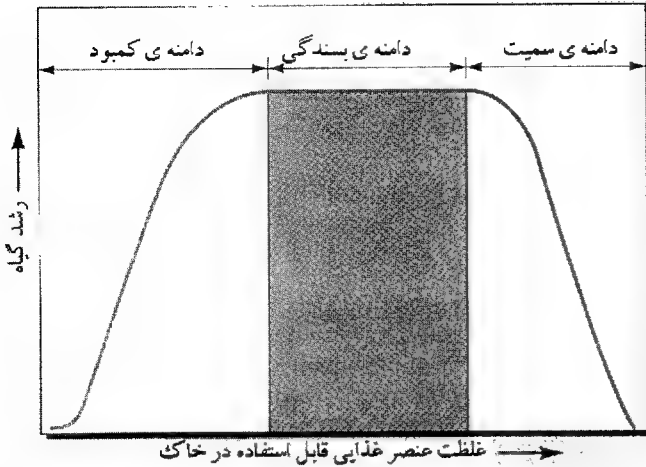
¹- Trace elements

²- Intensive crop production

³- Deficiency

⁴- Sufficiency range

⁵- Toxicity range



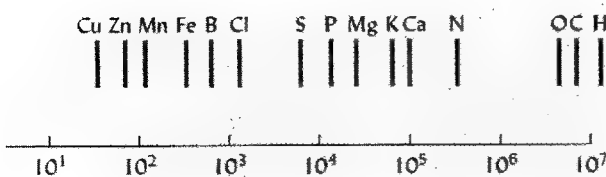
شکل ۱-۱۵ رابطه ی بین مقدار یک عنصر کم مصرف قابل استفاده برای جذب نبات و رشد گیاه. در دامنه ی کمبود با افزایش قابلیت استفاده عنصر، رشد نیز افزایش می یابد (جذب نیز افزایش می یابد). در دامنه ی کفایت گیاهان می توانند تمام عنصر مورد نیاز خود را دریافت دارند و بنابراین رشد آن ها کمتر تحت تأثیر تغییرات در این دامنه قرار می گیرد. در مقادیر بالاتر، قابلیت استفاده با عبور از یک آستانه وارد دامنه ی سمیت می گردد که در آن، مقدار عناصر غذایی موجود، بیش از مقدار لازم بوده و سبب واکنش های فیزیولوژیکی منفی شده و منجر به کاهش رشد و حتی مرگ نبات می گردد.

برای عناصر پر مصرف، دامنه کفایت بسیار گسترده تر بوده و سمیت به ندرت پیش می آید. هر چند ممکن است در عناصر کم مصرف اختلاف بین سطوح کمبود و سمیت خیلی باریک بوده و امکان ایجاد سمیت را کاملاً عملی سازد. برای نمونه، در مورد بر و مولیبدون، سمیت شدید ممکن است با مصرف ۴-۳ کیلوگرم از عناصر قابل استفاده در خاکی که ابتدا کمبود این عنصر را داشته است حاصل آید. سمیت مس و روی در خاک هایی که با لجن صنعتی، پس مانده های ذوب فلزات آلوده شده، و یا در آن ها قارچ کش سولفات مس به مدت زیاد مصرف گردیده، مشاهده شده است.

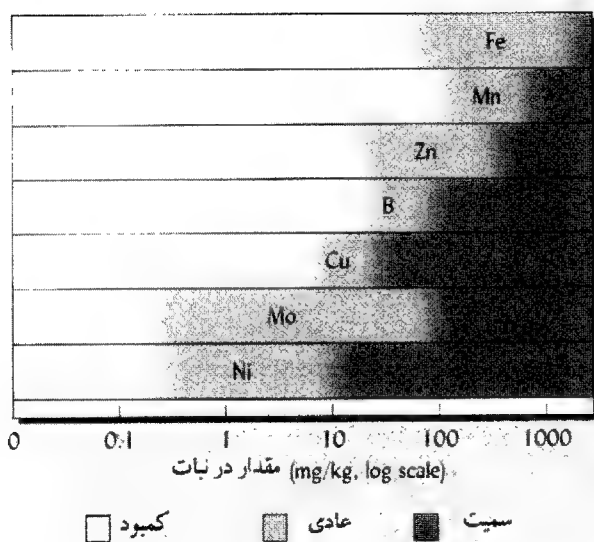
ممکن است مقدار زیاد مولیبدون به طور طبیعی در خاک های قلیایی خاص با زه کشی ضعیف تجمع یابد. در بعضی موارد ممکن است مقدار کافی از این عنصر برای ایجاد سمیت نه تنها در گیاهان حساس، بلکه در علوفه ی مورد چرای احشام در این اراضی به وسیله ی نبات جذب گردد. ممکن است بر نیز به طور طبیعی در خاک های قلیایی در مقداری چنان بالا یافت شود که سمیت در نبات را سبب گردد. اگرچه مقادیر بیشتری از سایر عناصر کم مصرف لازم است و می تواند به وسیله ی نبات تحمل گردد احتیاط بیشتری در مصرف عناصر کم مصرف به خصوص برای تعادل عناصر غذایی باید معمول داشت.

ممکن است آب آبیاری در مناطق خشک دارای مقادیر کافی بر، مولیبدون و سلنیم (عنصری کم مصرف که به نظر نمی رسد عنصر غذایی مورد نیاز نبات باشد) محلول برای ایجاد خسارت در نباتات حساس باشد، اگرچه ممکن است میزان اولیه این عناصر در خاک خیلی زیاد نباشد، بنابراین شرط احتیاط این است که میزان این عناصر در آب مورد مصرف آبیاری مورد نظارت قرار گیرد (بخش ۸-۱۰ را مشاهده کنید). به نظر نمی رسد سلنیم در سوخت و ساز گیاهی اساسی باشد، اما برای حیوانات لازم است. نباتانی هایی مانند عضله ی سفید گاوها (White muscle) ناشی از علوفه دارای کمبود سلنیم می باشد. به علاوه، سمیت سلنیم در خاک های غرب آمریکا و دیگر مناطق جهان که دارای سلنیم زیادند سبب نارسایی نبود تعادل (Blind staggers) و حتی مرگ می شود.

عناصر کم مصرف در مقادیر خیلی اندک مورد نیازند، غلظت آن ها در بافت های گیاهی ده برابر تا چند ده برابر کمتر از عناصر پر مصرف است (شکل ۲-۱۵). دامنه ی غلظت بافت های گیاهی به صورت کمبود، کفایت و سمیت برای چندین عنصر کم مصرف در شکل ۳-۱۵ تشریح شده است.



شکل ۲-۱۵ تعداد نسبی اتم های عناصر غذایی اساسی در یونجه در مرحله ی گلدهی، که به صورت لگاریتمی تشریح شده است. توجه داشته باشید که بیشتر از ۱۰ میلیون اتم هیدروژن در مقابل هر اتم مولیبدن وجود دارد. با وصف این رشد طبیعی نبات بدون وجود مولیبدن صورت نمی گیرد.



شکل ۳-۱۵ سطوح کمبود، کفایت و سمیت در گیاهان برای ۷ عنصر کم‌مصرف. توجه نمایید که دامنه‌ی نشان‌داده شده در مقیاس لگاریتمی بوده و حد فوقانی برای منگنز حدوداً ۱۰ هزار برابر حد پایین برای مولیبدن و نیکل می‌باشد. در استفاده از این شکل، به اختلافات زیاد در توانایی گونه‌های مختلف گیاهی و ارقام آن‌ها در تجمع و تحمل سطوح مختلف عناصر کم‌مصرف توجه داشته باشید.

۱۵-۲ نقش عناصر کم‌مصرف

نقش فیزیولوژیک

نقش عناصر کم‌مصرف در تغذیه‌ی نباتات بسیار پیچیده است درحالی‌که اکثر عناصر کم‌مصرف در اعمال تعدادی از نظام‌های آنزیمی دخالت دارند (جدول ۱-۱۵)، تغییرات قابل‌توجهی در نقش ویژه هر کدام از عناصر کم‌مصرف در فرایند رشد نباتات و ریزجاندانان موجود است. برای نمونه، مس، آهن، مولیبدن قادر هستند که به‌عنوان حامل‌های الکترون در نظام آنزیمی، که واکنش‌های اکسایش و احیا را در نباتات به‌وجود می‌آورند، عمل می‌کنند. این واکنش‌ها در سوخت‌وساز نوری و بسیاری از فرایندهای سوخت‌وساز جزء مراحل اساسی می‌باشند. روی و منگنز در بسیاری از نظام‌های آنزیمی گیاهی به‌عنوان پل ارتباطی آنزیم با ماده‌ای که قرار است بر روی آن واکنش ایجاد کند، ایفای نقش می‌کنند.

مولیبدن و منگنز برای تغییر شکل خاص نیتروژن در ریزجاندانان، و همین‌طور گیاهان لازم می‌باشند. مولیبدن و آهن از اجزاء آنزیم نیتروژناز^۱ که برای فرایندهای تثبیت همزیست و غیرهمزیست نیتروژن اساسی است، می‌باشند، مولیبدن همچنین در آنزیم نیترات ریداکتاز^۲ که مسوول احیای نیترات در خاک‌ها و نباتات است حضور دارد.

نیکل اخیراً به فهرست عناصری که نشان داده‌اند برای گیاهان عالی اساسی می‌باشند اضافه شده است، این عنصر برای ایفای نقش آنزیم‌های متعدد، از جمله اوراز^۳، که سبب شکسته شدن اوره به آمونیاک و گاز کربنیک می‌شود اساسی است. کمبود نیکل سبب تراکم اوره در مقادیر سمی در برگ‌های نیامداران می‌شود. بذور غلات دارای کمبود نیکل فاقد حیات بوده و جوانه نمی‌زنند.

روی در ساختن پروتئین، تشکیل بعضی از هورمون‌های رشد و فرایند تکثیر در بعضی نباتات نقش دارد. مس در هر دو فرایند سوخت‌وساز نوری و تنفس و مصرف آهن نیز شرکت داشته و همچنین سبب تقویت لیگنینی شدن دیواره یاخته می‌شود. نقش بر هنوز به روشنی معلوم نیست، اما به‌نظر می‌رسد که در تقسیم یاخته، جذب آب و جابه‌جایی قند در گیاهان شرکت داشته باشد. آهن در تشکیل و تخریب سبزینه و ساختن پروتئین و اسید نوکلئیک دخیل است. به‌نظر می‌رسد منگنز که برای سوخت‌وساز نوری و سوخت‌وساز نیتروژن اساسی باشد.

نقش کلر هنوز تا حدی مبهم است، گرچه از نظر تأثیر در سوخت‌وساز نوری و رشد ریشه شناخته شده است. کبالت برای تثبیت همزیست نیتروژن اساسی می‌باشد، به‌علاوه نیامداران و سایر گیاهان نیازمند تأمین کبالت جدا از تثبیت نیتروژن می‌باشند، اگرچه مقدار لازم درمقایسه با مقدار مورد نیاز در تثبیت اندک است.

^۱ Nitrogenase

^۲ Nitrate reductase

^۳ Urease

علائم کمبود

عرضه ناکافی عناصر غذایی اغلب به صورت علائم مشخص قابل مشاهده در نباتات تظاهر می کند، که بعضی از آن ها به عنوان شاخصی از کمبود عناصر خاص مورد استفاده می باشند. اغلب عناصر کم مصرف در نباتات نسبتاً غیر متحرک می باشند، و این بدان معناست که نبات نمی تواند به طوری مؤثر عنصر غذایی را از برگ های پیر به برگ های جوان تر انتقال دهد. بنابراین، در برگ های جوان به دنبال کاهش عنصر غذایی ایجاد شده اند، غلظت عنصر کمترین و علائم کمبود برجسته ترین می باشد. برگ های ذرت خوشه ای دارای کمبود آهن در تابلو ۲۹ رنگی و ذرت و هلوئی دارای کمبود روی در تابلو ۳۰ و ۳۱ بیانگر شیوهی برجسته علائم کمبود در برگ های جوان است.

کمبود روی در ذرت در نوارهای عریض سفید در هر دو طرف رگبرگ اصلی در بوته های جوان شاخص می باشد. اما ممکن است با گرم شدن خاک و توسعه نظام ریشه ها در گیاهان بالغ به داخل حجم یزرگی از خاک علائم کمبود ناپدید گردند. زردی بین رگبرگ ها (رگبرگ های سبز تیره و مناطق زرد روشن بین رگبرگ ها) در برگ های جوان و پیچیدن برگ های کوچک در انتهای شاخه (علامتی که برگ کوچولو^۱ نامیده می شود) شاخص برگ های درختان مواجه با کمبود روی می باشند.

کمبود بر معمولاً در نقاط درحال رشد، مانند جوانه ها، میوه ها، و گل ها، و نوک ریشه مؤثر است، در گیاهان دارای بر اندک ممکن است که گل ها تغییر شکل داده (کله گاوی^۲ در گل سرخ- شکل ۴-۱۵)، بذری سقط جنین شده، برگ های ضخیم شکننده و چروک دار، نقاط درحال رشد مرده را تولید کنند (شکل ۵-۱۵). یک بار مصرف اندک بر در زمان مناسب سبب ایجاد تفاوت در بازپسندی محصول خواهد شد.

جدول ۱-۱۵ نقش چندین عنصر کم مصرف در گیاهان عالی

عناصر کم مصرف	نقش در گیاهان عالی
روی	حضور در آنزیم دی هیدروژناز ^۳ و پروتیناز ^۴ و پپتیداز ^۵ ، که سبب ارتقاء هورمون های رشد و تشکیل نشاسته و ارتقای رسیدن بذری می شود.
آهن	حضور در چند آنزیم پراکسیداز ^۶ ، کاتالاز ^۷ ، سیتوکروم اکسیداز ^۸ موجود در فرودکسین ^۹ که در واکنش های احیا شرکت می کنند (احیا NO_3^- و SO_4^{2-} تثبیت نیتروژن)، مهم در تشکیل سبزینه
مس	حضور در لاکاز ^{۱۰} و چندین آنزیم اکسیدکننده دیگر از نظر سوخت و ساز نوری و سوخت و ساز پروتیین و کربوهیدرات و احتمالاً تثبیت نیتروژن مهم می باشد.
منگنز	سبب فعال شدن دی کربوکسیلاز ^{۱۱} دی هیدروژناز و آنزیم های اکسیدکننده می باشد، در سوخت و ساز نوری، سوخت و ساز نیتروژن و جذب نیتروژن مهم می باشد.
نیکل	برای اوراز ^{۱۲} ، هیدروناز ^{۱۳} ، متیل ریداکتاز ^{۱۴} اساسی بوده و برای پرکردن دانه، حیات بذری، جذب آهن، متابولیسم اوره ^{۱۵} و اروید ^{۱۶} و جلوگیری از سطوح سمیت این فرآورده های حاصل از تثبیت نیتروژن در نیام داران لازم است.
بر	سبب فعال شدن آنزیم های دی هیدروژناز به خصوص می شود. سبب تسهیل جابه جایی فند، ساختن اسید نوکلئیک و هورمون های نباتی لازم برای تقسیم و رشد یافته می گردد.
مولیبدن	در آنزیم های نیتروژناز ^{۱۷} (تثبیت نیتروژن) و نیترات ریداکتاز ^{۱۸} که برای تثبیت و جذب نیتروژن اساسی می باشند حضور دارد.
کبالت	برای تثبیت نیتروژن اساسی بوده و در ویتامین B ₁₂ یافت می شود.

^۱- Little leaf

^۲- Bull head

^۳- Dehydrogenase

^۴- Proteinase

^۵- Peptidase

^۶- Peroxidasae

^۷- Catalase

^۸- Cytochrome oxidasae

^۹- Ferredoxin

^{۱۰}- Laccasae

^{۱۱}- Decarboxylase

^{۱۲}- Urease

^{۱۳}- Hydrogenase

^{۱۴}- Methyl reductase

^{۱۵}- Urea

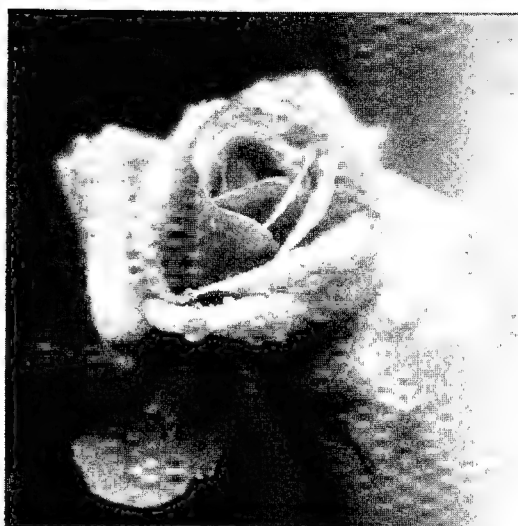
^{۱۶}- Ureide

^{۱۷}- Nitrogenase

^{۱۸}- Nitrate reductase

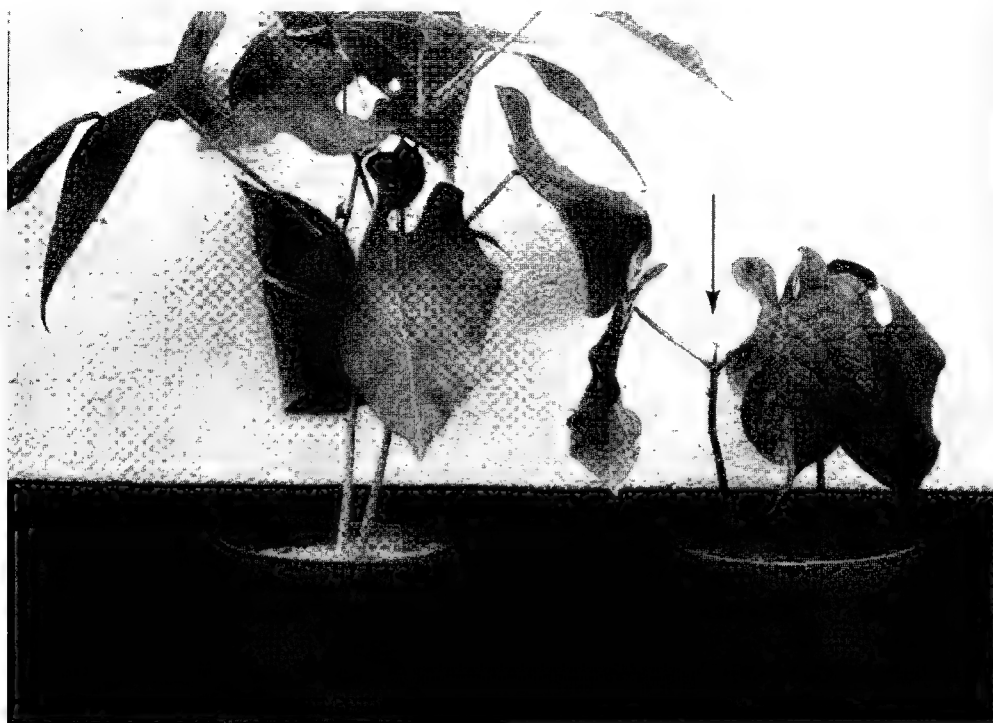


(الف)



(ب)

شکل ۴-۱۵ یک گل سرخ تغییر شکل داده و با کله گاوی بر روی بوته سرخ چای (الف). گل باز شده بر روی همان گیاه پس از مصرف محلول حاوی بر روی برگ‌ها و شکوفه‌های جوان (ب)



شکل ۵-۱۵ اهمیت بر در رشد نبات با مقایسه‌ی نبات لوییای سالم در سمت چپ با نبات دچار کمبود در سمت راست به خوبی تشریح شده است. وقتی نبات سمت راست تمام بر موجود در بذر خود را مصرف کرد، ایجاد برگ‌های جدید از جوانه‌ی انتهایی (به پیکان توجه کنید) کاملاً متوقف شد.

۳-۱۵ منابع عناصر کم مصرف

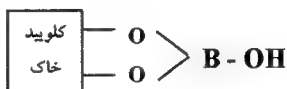
ممکن است کمبود عناصر کم مصرف مربوط به میزان اندک عنصر در سنگ‌های مادر و یا مواد مادری انتقال یافته باشد. مقادیر سمی آن‌ها بعضی مواقع مربوط به مقادیر زیاد غیر معمول آن‌ها در سنگ‌ها و کانی‌های تشکیل دهنده‌ی خاک می‌باشد. کمبود و سمیت این عناصر عمدتاً ناشی از شرایط خاص خاک بوده که سبب افزایش و یا کاهش حلالیت و قابل استفاده این عناصر برای نبات می‌گردد.

اشکال معدنی عناصر کم مصرف

منابع ۹ عنصر کم مصرف به طور چشم گیری از منطقه به منطقه متفاوت است. تغییرات گسترده ی میزان این عناصر در خاک و مقادیر پیشنهاد شده در یک خاک معرف در جدول ۲-۱۵ آمده است.

تمام این عناصر کم مصرف در مقادیر متفاوت در سنگ های آذرین یافت می شوند، آهن و منگنز در کانی های سیلیکاتی اولیه مانند بیوتیت^۱ و هورنبلند^۲ دارای موقعیت ساختمانی خاص می باشند. کبالت و روی ممکن است موقعیت ساختمانی را به صورت جانشین فرعی برای اجزاء اصلی کانی های سیلیکاتی از جمله رس ها به دست آورند.

اشکال معدنی عناصر کم مصرف بر اثر تجزیه کانی و تشکیل خاک تغییر می یابد اکسیدها و در بعضی موارد سولفیدهای عناصری مانند آهن، منگنز و روی تشکیل می شوند (جدول ۲-۱۵ را مشاهده کنید). ممکن است سیلیکات های ثانویه از جمله کانی های رسی دارای مقادیر قابل ملاحظه ای آهن، منگنز و مقادیر کمتری روی و کبالت باشند، سنگ های خیلی بازی به خصوص سرپنتین^۳ از نیکل غنی می باشند. کاتیون های کم مصرف که با وقوع حوادثی آزاد می شوند، درست همانند جذب یون های کلسیم و آلومینیوم در معرض جذب کلویید قرار می گیرند (بخش ۳-۸ را مطالعه کنید). ممکن است آنیون هایی مانند بورات و مولیدات در خاک ها در معرض جذب و یا واکنش های مشابه همانند فسفات ها قرار گیرند. ممکن است در مورد بر جذب به صورت زیر بیان گردد:



کلر محلول ترین عنصر از عناصر کم مصرف، هر سال به مقدار قابل ملاحظه ای بر اثر بارندگی به خاک ها اضافه می شود. افزودن ضمنی آن به خاک ها به وسیله ی کودهای شیمیایی اصلی و سایر راه ها از کمبود کلر در شرایط مزرعه ای ممانعت می کند. کلر به طور بسیار ضعیف جذب کلوییدهای خاک می شود.

جدول ۲-۱۵ منابع عمده ی ۹ عنصر کم مصرف، دامنه و میزان محتوی شاخص آن ها در خاک و محصول برداشت شده. نسبت محتوی عنصر در خاک به محصول بیانگر نیاز اساسی به ارتقای کارایی گیاهان برای جذب این عناصر در خاک می باشد.

عنصر	اشکال عمده در طبیعت	دامنه ی تغییرات در خاک mg/kg	محتوی خاک معرف سطحی mg/kg	مقدار در نبات کیلوگرم در هکتار
آهن	اکسیدها، سولفیدها و سیلیکات ها	۲۰۰۰۰-۲۲۰۰۰۰	۵۶۰۰۰	۲
منگنز	اکسیدها، سیلیکات ها و کربنات ها	۴۵-۹۰۰۰	۲۲۰۰	۰/۵
روی	سولفیدها، کربنات ها و سیلیکات ها	۲۷-۷۰۰	۱۱۰	۰/۳
مس	سولفیدها، هیدراکسی کربنات ها و اکسیدها	۴-۲۰۰۰	۴۵	۰/۱
نیکل	سیلیکات ها، به خصوص سرپانتین	۱۰-۲۲۰۰	۴۵	۰/۰۲
بر	بور و سیلیکات ها، بورات ها	۸-۲۰۰	۲۲	۰/۲
مولیدون	سولفیدها، اکسیدها و مولیدات ها	۰/۴-۱۰	۵	۰/۰۲
کلر	کلریدها	۱۵-۱۰۰	۲۲	۲/۵
کبالت	سیلیکات ها	۲-۹۰	۱۸	۰/۰۲

اشکال آلی عناصر کم مصرف

ماده ی آلی منبع ثانویه مهم برای بعضی از عناصر کمیاب می باشد. تعدادی از آن ها تمایل دارند که به صورت ترکیبات همتافت به وسیله ی کلوییدهای آلی (هموس) نگهداری شوند. مس مخصوصاً چنان به وسیله ی ماده ی آلی به طور محکم نگهداری می شود که قابلیت استفاده آن در خاک های آلی (هیستوسول ها) می تواند بسیار پایین باشد. در خاکرخی های شخم نخورده. غلظت عناصر کم مصرف، که احتمالاً بیشتر آن ها جزء بخش آلی می باشند تا حدی بیشتر است. همبستگی بین ماده ی آلی خاک و مقدار مس، مولیدون و روی آن مشخص شده

^۱ - Biotite

^۲ - Hornblende

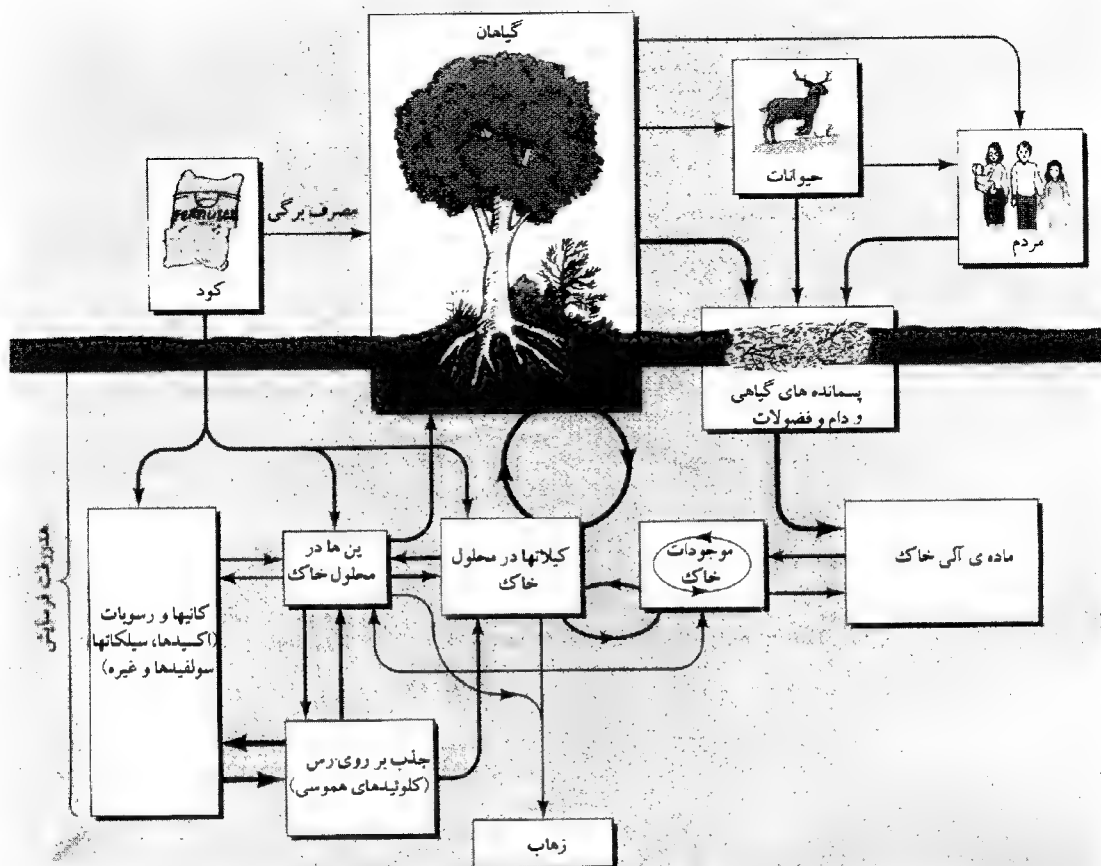
^۳ - Serpentine

است. گرچه عناصری که بدین صورت به وسیله کلویدها نگهداری می شوند همیشه به آسانی قابل استفاده نبات نمی باشند، آزاد شدن آن ها از طریق تجربه بدون شک یک عامل مهم حاصلخیزی است. کودهای دامی منبع مناسب عناصر کم مصرف می باشد که عمده ی آن ها در اشکال آلی حضور دارند.

اشکال عناصر کم مصرف در محلول خاک

اشکال غالب عناصر کم مصرف که در محلول خاک وجود دارند در جدول ۳-۱۵ آمده است شکل خاص عمدتاً به وسیله ی pH و تهویه خاک (پتانسیل اکسید احیایی) معلوم می شود. توجه داشته باشید که کاتیون ها در شکل ساده و کاتیون های هیدراکسیدهای فلزی حضور دارند. در شرایط خیلی اسیدی کاتیون های ساده غالب بوده و با افزایش pH کاتیون های هیدراکسید فلزی پیچیده تر فراوان تر می شوند. مولبدن عمدتاً به صورت MoO_4^{2-} حضور دارد، آنیونی که در pH پایین همانند فسفر وارد واکنش می شود (فصل ۱۴ را مشاهده کنید). اگرچه ممکن است بر در pH بالا به صورت آنیونی حضور داشته باشد، تحقیقات نشان داده است که اسید بوریک تفکیک نشده H_3BO_3 در محلول شکل غالب بوده و به وسیله ی نباتات عالی جذب می شود.

چرخه ی عناصر کم مصرف در نظام خاک-گیاه و حیوان به طور کلی در شکل ۶-۱۵ تشریح شده است. گرچه هر عنصر کم مصرف در تمام مسیرهای تعیین شده در شکل شرکت نمی کند، می توان مشاهده کرد که کیلات های آلی، کلویدهای خاک، ماده ی آلی و کانی های خاک همگی در تأمین عناصر کم مصرف در محلول، و در نتیجه رشد نباتات دخیل می باشند. وقتی توجه خود را به قابلیت استفاده عناصر کم مصرف معطوف می داریم. برگشت و مراجعه ی مجدد به شکل ۶-۱۵ برای مشاهده ی روابط بین فرایندها یاری رسان خواهد بود.



شکل ۶-۱۵ چرخه و تغییر شکل عناصر کم مصرف در نظام خاک، نبات و حیوان. گرچه تمام عناصر کم مصرف ممکن است هر کدام تمام مسیرهای تعیین شده را دنبال نکنند، اکثر آن ها در اجزاء اصلی چرخه دخیل می باشند. تشکیل کیلات ها که بیشتر این عناصر را در شکل محلول نگه می دارند چهره های مشخص در این چرخه می باشد.

۴-۱۵ شرایط کلی که منجر به کمبود عناصر کم مصرف می شوند

عناصر کم مصرف، به طور بسیار محتمل در ۵ نوع شرایط موجود در خاک که در زیر آمده است سبب محدودیت رشد نبات می شوند.

خاک های شنی اسیدی آبشویی شده: خاک های شدیداً آبشویی شده شنی اسیدی از نظر عناصر کم مصرف، به همان دلیل که از نظر عناصر کم مصرف نیز دچار کمبود می باشند فقیرند. این عناصر در مواد مادری آنها از اول پایین بوده و آبشویی اسید سبب برداشت هر چه بیشتر اندک مقدار اولیه عناصر موجود در آنها گردیده است. در مورد مولیبدون، شرایط اسیدی خاک سبب کاهش چشم گیر قابلیت استفاده آنها خواهد شد.

خاک های آلی: میزان عناصر کم مصرف خاک های آلی وابسته به شستو و یا آبشویی این عناصر به مناطق باتلاقی طی تشکیل خاک است. در اکثر موارد میزان حرکت این مواد برای تولید رسوباتی با مقادیر زیاد عناصر کم مصرف مشابه با خاک های معدنی اطراف آنها اندک می باشد. توانایی خاک های آلی برای پیوند عناصر خاص، به خصوص مس، نیز سبب تشدید کمبود آنها می شود.

کشت و کار پرنهاده: کشت و کار پرنهاده که در آن مقادیر زیادی از عناصر غذایی به وسیله برداشت محصول خارج می شود، سبب تخلیه ذخایر عناصر کم مصرف در خاک و افزایش کمبود محتمل آنها می گردد. این تخلیه در عملکردهای بالا با کمک کودهای شیمیایی، که فقط عناصر کم مصرف را تأمین کرده و فاقد عناصر کم مصرف است بسیار معمول می باشد.

pH بسیار زیاد و کم: خاک به خصوص در خاک ها با تهویه مناسب، دارای تأثیر قطعی بر قابلیت استفاده تمام عناصر کم مصرف، به استثنای کلر، می باشد. در شرایط خیلی اسیدی، مولیبدون غیر قابل استفاده می شود. در pH های بالا قابلیت استفاده تمام کاتیون های کم مصرف به طور نامطلوب تحت تأثیر قرار می گیرد.

جدول ۳-۱۵ اشکال عناصر کم مصرف غالب در محلول خاک

عناصر کم مصرف	شکل غالب در خاک	عناصر کم مصرف	شکل غالب در خاک	عناصر کم مصرف	شکل غالب در خاک
آهن	$Fe(OH)_2^+$, $Fe(OH)^{2+}$, Fe^{3+} , Fe^{2+}	کبالت	Co^{2+}	مس	Cu^{2+} , $Cu(OH)^+$
روی	$Zn(OH)^+$ و Zn^{2+}	نیکل	Ni^{2+} و Ni^{3+}	بر	$H_2BO_3^-$ و H_3BO_3
مولیبدون	$HM O_4^-$ و MoO_4^{-2}	منگنز	Mn^{2+}	کلر	Cl^-

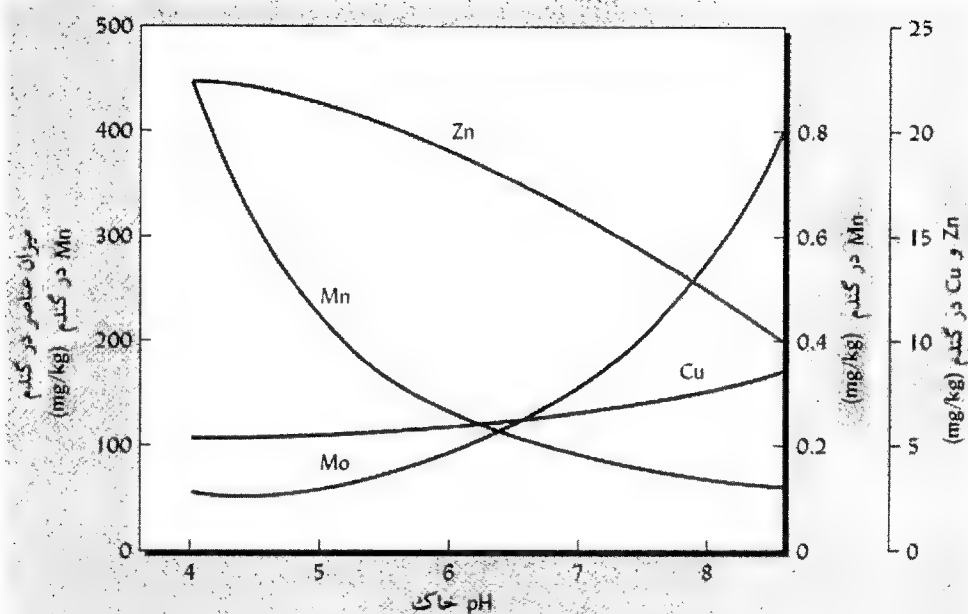
خاک های فرسایش یافته: فرسایش خاک می تواند بر قابلیت استفاده عناصر مؤثر باشد. فرسایش خاک سطحی سبب برداشت مادی آلی قابل ملاحظه ای که در آنها عناصر کم مصرف قابل استفاده وجود دارند خواهد شد. همچنین برداشت خاک سطحی سبب ظاهر شدن خاک تحت الارض خواهد شد که معمولاً دارای pH بالاتر از خاک سطحی بوده و سبب کمبود بعضی از عناصر کم مصرف مانند مس خواهد شد. برجستگی ها و دامنه های فرسایش یافته معمولاً محل کمبود بعضی از عناصر می باشد.

۵-۱۵ عوامل مؤثر در قابلیت استفاده ی کاتیون های کم مصرف

هر کدام از کاتیون های عناصر کم مصرف (Fe, Cu, Mn, Zn, Ni, Co) به طریقی خاص تحت تأثیر محیط خاک قرار می گیرند. گرچه، عوامل به خصوص خاک دارای همان اثرات کلی بر قابلیت استفاده هر ۶ کاتیون می باشند.

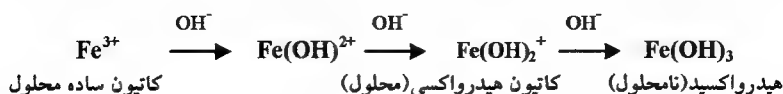
pH خاک

کاتیون های کم مصرف در شرایط اسیدی دارای محلول ترین و قابل استفاده ترین وضعیت می باشند، در خاک های خیلی اسیدی یون های آهن، منگنز، روی، مس دارای فراوانی نسبی می باشند (شکل ۷-۱۵). نیکل شیوه عمومی افزایش قابلیت استفاده را در pH پایین دنبال می کند. در واقع تحت این شرایط، غلظت محلول خاک و یا فعالیت یک عنصر و یا عناصر بیشتر (به طور معمول منگنز) چنان بالاست که برای گیاهان معمولی سمی می باشد. همان طوری که در فصل ۹ بیان گردید، یکی از دلایل اولیه برای آهک دادن خاک های اسیدی کاهش حلالیت Mn و Al می باشد.



شکل ۷-۱۵ اثر pH خاک بر غلظت منگنز، روی، مس، مولیبدون در نبات گندم. خاک‌ها از کشورهای مختلف در سرتاسر جهان بوده است میزان مولیبدون بسیار پایین است اما با افزایش pH افزایش می‌یابد. میزان منگنز و روی با افزایش pH کاهش می‌یابد، مس کمتر تحت تأثیر قرار گرفته است.

با افزایش pH شکل یونی کاتیون‌های عناصر کم‌مصرف اول به یون‌های هیدراکسیل عنصر و نهایتاً به هیدراکسیدها و اکسیدهای نامحلول عنصر تبدیل می‌شود در مثال زیر از یون آهن سه ظرفیتی به‌عنوان نمونه گروه استفاده شده است:



تمام هیدراکسیدهای کاتیون‌های عناصر کم‌مصرف نسبتاً نامحلول می‌باشند گرچه برخی از برخی دیگر نامحلول‌ترند. pH دقیق که در آن ترسیب صورت می‌گیرد عنصر به عنصر و بین حالت‌های اکسایش هر عنصر متفاوتست. برای مثال، ظرفیت بالای آهن و منگنز در هیدراکسید آنها بسیار نامحلول‌تر از ترکیبات دارای ظرفیت پایین می‌باشد. در مقادیر پایین pH حلالیت کاتیون‌های عناصر کم‌مصرف بالا بوده و با افزایش pH قابلیت انحلال و قابلیت استفاده آنها برای گیاهان کاهش می‌یابد. آهک‌دادن بیش از اندازه در یک خاک اسیدی اغلب منجر به کمبود آهن، منگنز، روی، مس و بعضی مواقع بُر، می‌گردد. چنین کمبودها که با pH بالا همراه است. به‌طور طبیعی در بسیاری از خاک‌های آهکی مناطق خشک صورت می‌گیرد.

مطلوب بودن عمومی یک خاک کمی اسیدی (pH بین ۶ و ۷) عمدتاً ریشه در این واقعیت دارد که برای بسیاری از گیاهان این شرایط pH امکان می‌دهد که کاتیون‌های عناصر کم‌مصرف به‌اندازه کافی برای رفع نیازهای نبات محلول بوده و ایجاد سمیت نکنند (شکل ۱۸-۹ را مشاهده کنید). گیاهان خاص، به‌خصوص انواعی که بومی خاک‌های خیلی اسیدی می‌باشند دارای توان اندکی برای جذب آهن و سایر عناصر کم‌مصرف می‌باشند، مگر آن‌که خاک کاملاً اسیدی گردد (حدود pH ۵)، در pH بالاتر از ۵/۵ این نباتات با کمبود این عنصر مواجه می‌شوند (شکل ۸-۱۵ را مشاهده کنید). بخش ۷-۹ اطلاعات اختصاصی‌تری از pH مطلوب گیاهان مختلف را ارائه می‌دهد.

قابلیت استفاده روی همانند آهن وقتی pH خاک با دادن آهک، افزایش می‌یابد، کاهش پیدا می‌کند، هرچند علاوه بر اثرات pH اضافه کردن مواد آهکی دارای منیزیم فراوان (سنگ آهک دولومیتی) سبب کاهش هرچه بیشتر قابلیت استفاده روی خواهد شد. زیرا روی به‌شدت جذب دولومیت و بلورهای کربنات منیزیم خواهد شد. کمبود روی ممکن است بر اثر برهمکنش روی و منیزیم در گیاه تشدید یابد.

حالت اکسایش و pH

کاتیون‌های عناصر کم‌مصرف آهن، منگنز و مس در خاک‌ها با ظرفیت‌های متفاوت وجود دارند درحالت ظرفیت پایین عناصر به‌صورت احیا شده، و درحالت ظرفیت بالا اکسید شده می‌باشند. کاتیون‌های فلزی، وقتی عرضی اکسیژن کاهش یابد، مانند خاک‌های مرطوب دارای

مواد آلی قابل تجزیه، احیا می شوند. احیا همچنین می تواند به وسیله عوامل احیا کننده سوخت و سازی آلی مانند NADPH^۱ و یا اسید کافیک^۲، که به وسیله نباتات و ریز جانداران در خاک تولید می شوند، انجام می پذیرد.

تغییر از یک ظرفیت به ظرفیت دیگر در اکثر موارد به وسیله ریز جانداران و ماده آلی انجام می شود. ممکن است موجودات در بعضی موارد انرژی خود را مستقیماً از واکنش های معدنی به دست آورند. برای نمونه اکسایش منگنز در Mn^{2+} در اکسید منگنز (MnO) به Mn^{4+} در اکسید منگنیک MnO_2 می تواند به وسیله باکتری ها و قارچ های خاص انجام پذیرد. در سایر موارد، ممکن است مواد آلی تشکیل شده به وسیله میکروب ها و یا ریشه گیاهان مسوول اکسایش و احیا باشند، به طور کلی pH بالا برای اکسایش مطلوب بوده در صورتی که شرایط اسیدی منجر به احیا خواهد شد.



شکل ۸-۱۵ برگ های دچار کلروز در این بوته از ازالای علامتی از کمبود آهن است که به طور غیر عمد بر اثر pH بسیار بالای خاک به وجود آمده است. در این مورد کمبود آهن به خاطر استفاده از سنگریزه های مرمر برای تزیین در سطح بود. مرمر عمدتاً از کربنات کلسیم تشکیل شده است. آب باران نفوذ کرده در پوشش سنگریزه سبب انحلال آهک به مقدار کافی و رساندن آب به خاک زیرین، و بالا بردن pH از ۵/۴ به ۶ گردید. در pH ۶ انحلال آهن چنان پایین است که ازالای نمی تواند آهن خود را از آن کسب کند. آبیروی آهک در پیاده روهای سیمانی می تواند اثرات مشابهی را در نباتات اسید دوست در خاک های مجاور داشته باشد.

برهمکنش اسیدیته و تهویه خاک: در مقادیر pH معمول در خاک ها حالت اکسید شده آهن، منگنز و مس معمولاً بسیار کمتر از حالت احیا محلول می باشد. هیدراکسید های این اشکال با ظرفیت بالا در مقادیر pH پایین تر سیب یافته و به مقدار زیاد غیر محلول می باشند. برای نمونه، هیدراکسید آهن سه ظرفیتی در مقادیر pH ۳ تا ۴ رسوب می کند در حالی که هیدراکسید آهن فرو دو ظرفیتی تا مادامی که pH به ۶ و بالاتر نرسد رسوب نمی کند.

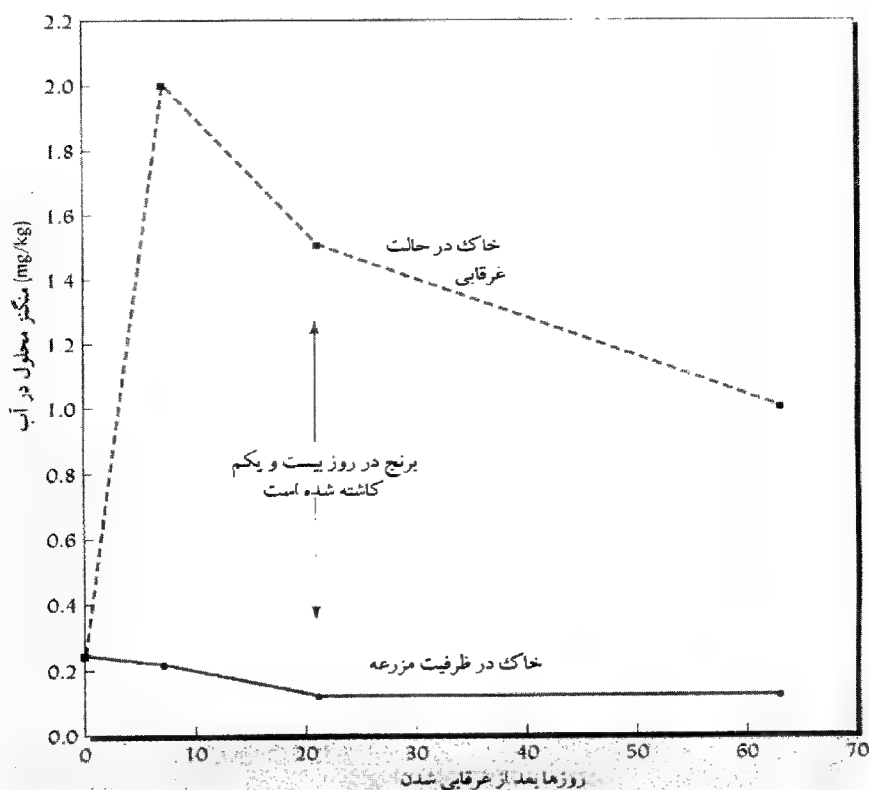
برهمکنش اسیدیته خاک و تهویه در تعیین قابلیت استفاده عناصر کم مصرف دارای اهمیت عملی زیادی می باشد. آهن، منگنز و مس معمولاً در شرایط زه کشی ناقص و در خاک های غرقابی قابل استفاده می باشند (شکل ۹-۱۵). ممکن است خاک های خیلی اسیدی، که دارای زه کشی ضعیف می باشند سبب عرضه مقادیر سمی آهن و منگنز شوند. گزارش شده است که سمیت منگنز وقتی صورت می گیرد که خاک های اسیدی دارای منگنز زیاد به طور کامل در طول آبیاری مرطوب گردند. اندی سول ها (خاک های گدازه های آذرین) با افق سطحی سیاه دارای ماده آلی زیاد از نظر مسایل سمیت منگنز وقتی با باران های سنگین مرطوب شوند، مشهور می باشند. سمیت آهن در برنج زارها معمول است. این سمیت در شرایط زه کشی مطلوب کمتر احتمال وقوع دارد مگر این که pH خیلی پایین باشد.

^۱ - Nicotinamid Diphosphate

^۲ - Caffeic acid

در دامنه بالای pH خاک، زه‌کشی مطلوب و تهویه دارای اثرات برعکس می‌باشند. بعضی مواقع خاک‌های آهکی با اکسایش خوب از نظر آهن، روی و منگنز قابل استفاده، حتی در صورت بالابودن مقدار کل این عناصر، با کمبود مواجه می‌شوند. هیدراکسیدهای دارای ظرفیت بالای این عناصر برای تأمین یون‌های مورد نیاز رشد نبات بسیار نامحلول می‌باشند. برعکس، در مقادیر بالای pH خاک قابلیت استفاده‌ی مولیدون ممکن است فوق‌العاده زیاد باشد، مولیدونوزیز^۱ یک بی‌نظمی بالقوه کشته است که در اثر وجود مولیدون بیش از اندازه در جیره‌ی غذایی احشام چراکننده بر روی گیاهان رویده در خاک‌های دارای pH خیلی بالا صورت می‌گیرد.

اختلافات چشم‌گیری در حساسیت ارقام مختلف نباتی به کمبود آهن در خاک‌های دارای pH بالا وجود دارد. این ظاهراً به‌خاطر اختلاف در توانایی آن‌ها برای محلول کردن آهن در پیرامون خیلی نزدیک ریشه‌ها می‌باشد. ارقام مقاوم به تنش کمبود آهن، با اسیدی کردن پیرامون ریشه و ترشح ترکیباتی که قادرند سبب احیای آهن به اشکال محلول‌تر و در نتیجه افزایش قابلیت استفاده آن شوند، عکس‌العمل نشان می‌دهند (شکل ۱۰-۱۵). به‌نظر می‌رسد، که بیشترین فعالیت احیای آهن در ریشه‌های موین بر روی ریشه‌های جوان دارای رشد شدید متمرکز شده باشد (شکل ۱۱-۱۵).



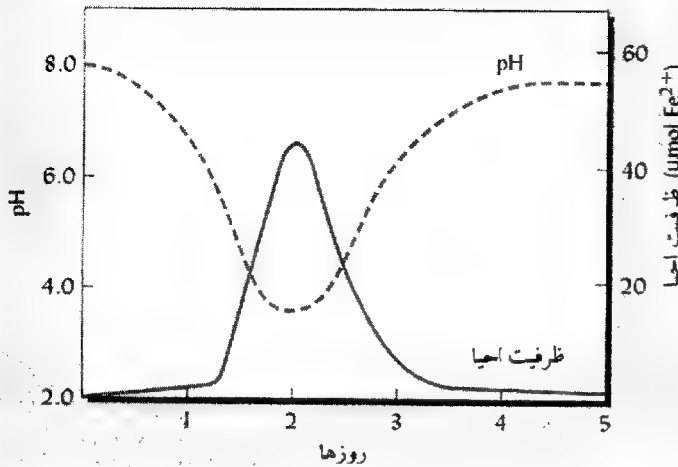
شکل ۱۵-۹ اثر غرقاب کردن بر منگنز محلول در آب خاک. اطلاعات معدل ۱۳ افق بدون مصرف ماده‌ی اصلاحی در آلتی‌سول‌ها با pH اولیه از ۳/۹ تا ۷/۱ می‌باشد.

سایر واکنش‌های معدنی

کاتیون‌های عناصر کم‌مصرف با رس‌های سیلیکاتی به دو طریق برهم واکنش دارند. اول، آن‌ها در واکنش تبادل کاتیونی بسیار شبیه با کلسیم و آلومینیوم، وارد می‌شوند. دوم، ممکن است آن‌ها به‌طور بسیار محکم در رس‌های سیلیکاتی مشخص، به‌خصوص نوع ۲:۱ وارد پیوند شده یا تثبیت گردند. ین‌های روی، منگنز، کبالت و آهن بعضی مواقع در ساختمان بلوری این رس‌ها وارد می‌شوند و بسته به شرایط ممکن است از رس آزاد شده و یا در حالتی مشابه با پتاسیم در آن‌ها تثبیت گردند (بخش ۱۴-۱۴ را مشاهده کنید). تثبیت ممکن است سبب کمبود فاحش کبالت و بعضی مواقع روی گردد، زیرا این عناصر به مقدار بسیار اندک در خاک وجود دارند.

^۱ - Molybdenosis

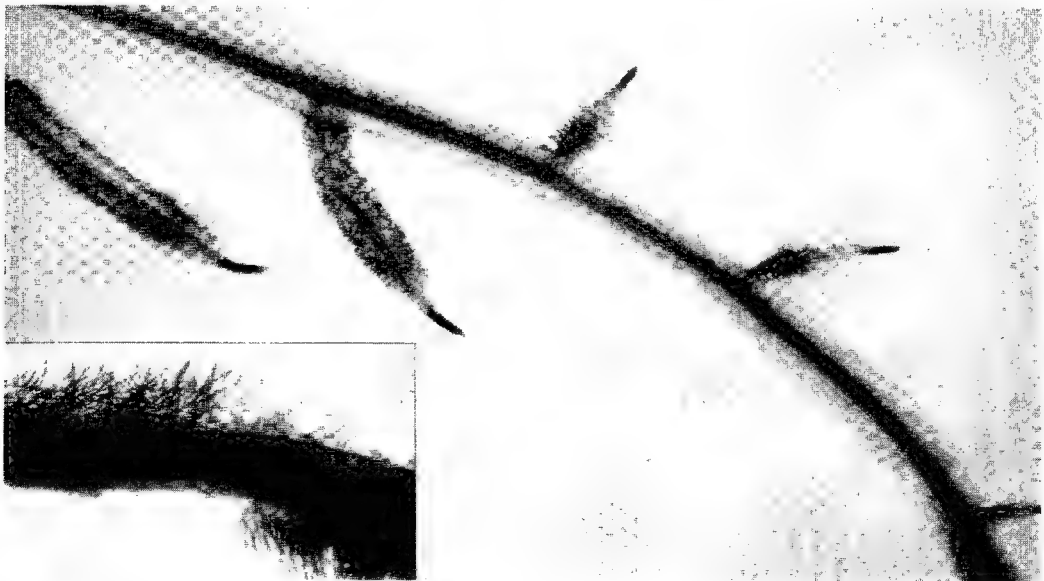
مصرف مقادیر زیاد کودهای فسفاته می تواند تأثیر منفی در تأمین بعضی از عناصر کم مصرف داشته باشد، ممکن است جذب هر دو عنصر آهن و روی در حضور فسفات اضافی کاهش یابد. به دلیل مسائل زیست محیطی و همین طور از نظر استفاده ی عملی، کودهای فسفاته باید فقط در مقادیری که لازمی رشد نبات است مصرف شوند.



شکل ۱۰-۱۵ واکنش یک رقم آفتابگردان به کمبود آهن. وقتی گیاه در اثر کمبود آهن تحت تنش قرار می گیرد، ترشحات ریشه سبب پایین آمدن pH و افزایش ظرفیت احیا در پیرامون نزدیک ریشه ها گردیده، آهن حل شده و به وسیله ی نبات جذب، و تنش تخفیف پیدا کرده، و شرایط به حالت عادی باز می گردند.

زردی ناشی از مصرف آهک

کمبود آهن در درختان میوه و بسیاری از نباتات دیگر در حضور یون بی کربنات تقویت می شود. آب های آبیاری دارای بی کربنات سبب افزایش این یون در بعضی از خاک ها می شوند. در سایر خاک ها، به خصوص خاک های شنی با ظرفیت بافری ضعیف، کمبود آهن بر اثر مصرف آهک زیاد برای رسیدن به pH مناسب ناشی می شود. یون بی کربنات در خاک ها با pH بالا در سوخت و ساز آهن مزاحمت ایجاد می کند، زیرا حلالیت آهن در این خاک ها به مقدار زیادی کاهش می یابد.



شکل ۱۱-۱۵ احیای آهن به وسیله ی ریشه های گوجه فرنگی که با فرو بردن ریشه های زنده به داخل محلول رنگی مشخص می شود. وقتی آهن در شکل آهن دوظرفیتی احیا می شود رنگ آبی تند در لکه ایجاد می گردد. توجه نمایید که واکنش احیا فقط در بخش رسیده انشعاب جوان ریشه ها (نه در منطقه نرسیده به نوک ریشه) صورت می گیرد. نوک ریشه های در حال توسعه هنوز سازوکار احیا را ایجاد نکرده است. نمای نزدیک (داخل عکس) نشان می دهد که واکنش احیا فقط در ریشه های موبین صورت گرفته و قسمت اصلی ریشه سیاه نشده باقی می ماند.

ماده‌ی آلی

استعمال ماده‌ی آلی، پس‌مانده‌های آلی و کود دامی بر قابلیت استفاده بالفعل و بالقوه‌ی کاتیون‌های عناصر کم‌مصرف تأثیر می‌گذارند. بعضی از ترکیبات آلی با این کاتیون‌ها وارد واکنش شده و همتافت‌های غیرمحلول در آب را ایجاد می‌کنند که می‌توانند آن‌ها را از تعامل ذرات معدنی که قادرند آن‌ها را به اشکال بسیار نامحلول درآورده بازدارند. سایر همتافت‌ها، عناصر غذایی دارای قابلیت استفاده کنند را هنگام تجزیه میکروبی فراهم می‌آورند. همتافت‌های آلی که سبب بالارفتن قابلیت استفاده عناصر می‌شوند در بخش ۶-۱۵ مورد ملاحظه قرار خواهند گرفت.

کمبود مس، و به‌مقدار کمتری منگنز، در خاک‌ها با زه‌کشی ضعیف دارای ماده‌ی آلی زیاد صورت می‌گیرد (خاک‌های باتلاقی). روی نیز به‌وسیله‌ی ماده‌ی آلی نگهداری می‌شود، اما کمبود ناشی از این نگهداری معمول نیست.

تجزیه‌ی میکروبی ماده‌ی آلی و کود دامی می‌تواند سبب آزادشدن عناصر کم‌مصرف، همانند عناصر پرمصرف گردد. همان‌طور که درمورد عناصر پرمصرف مانند نیتروژن گفته شد، کمبود موقتی عناصر کم‌مصرف هنگام اضافه‌کردن پس‌مانده‌ها به دلیل جذب و هضم عناصر کم‌مصرف خاک در اندام‌های ریزجانداران فعال پیش می‌آید.

محصولات آلی غنی از عناصر کم‌مصرف به‌عنوان منابع غذایی در خاک‌های دارای کمبود عناصر کم‌مصرف به‌کار می‌رود. برای نمونه معلوم شده است که کمپوست مواد آلی غنی از آهن همانند محصولات جانبی جنگل، پیت، کود دامی و پس‌مانده‌های گیاهی، برای خاک‌های دارای کمبود آهن مؤثر می‌باشد.

نقش قارچ-ریشه (میکوریز)

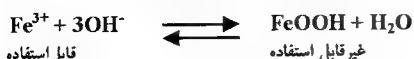
همزیستی بین اکثر گیاهان عالی و قارچ‌های خاک سبب تولید قارچ-ریشه‌ها می‌شود که به‌مراتب از ریشه‌های عادی نبات از چند نظر کاراتر می‌باشند. سرشت همزیستی قارچ-ریشه و اهمیت آن در تغذیه فسفر در بخش ۹-۱۱ و ۳-۱۴ مورد بحث قرار گرفت، اما به‌جا خواهد بود که اشاره کنیم قارچ-ریشه سبب افزایش جذب عناصر کم‌مصرف به‌وسیله‌ی نبات می‌شود (جدول ۵-۱۱). تناسوب زراعی و سایر عملیات که سبب تقویت تنوع قارچ-ریشه‌ها می‌گردند سبب بهبود تغذیه عناصر کم‌مصرف به‌وسیله‌ی نباتات نیز می‌شوند (شکل ۱۲-۱۵). تعجب‌آور این که وقتی این عناصر در غلظت‌های بالقوه سمی وجود دارند قارچ-ریشه از جذب بیش از حد عناصر کمیاب و سایر عناصر کم‌مصرف به‌وسیله‌ی گیاه ممانعت می‌کنند. نهال‌های درختانی مثل غان، کاج و سرو قادرند در محل‌هایی که با مقادیر زیاد روی، مس، نیکل و آلومینیوم آلوده شده‌اند به‌خوبی رشد کنند به‌شرط آن‌که ریشه‌های آن‌ها به‌وسیله‌ی قارچ-ریشه‌های خارجی دربرگرفته شوند. قارچ-ریشه‌ها ظاهراً کمک می‌کند که این کاتیون‌های فلزی از استوانه‌ی ریشه جدا شده، و از انتقال کاتیون‌های فلزی در فاصله طولانی در داخل نبات ممانعت به‌عمل آید.

۶-۱۵ ترکیبات آلی به صورت کیلات

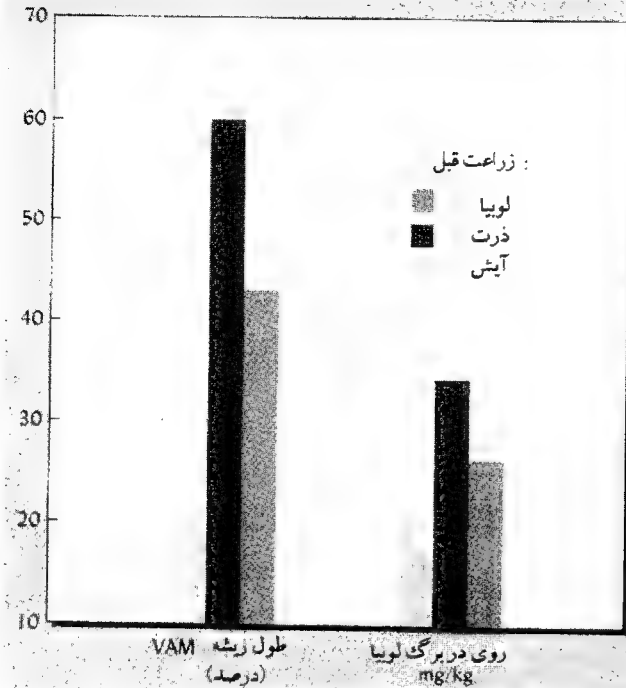
عناصر کم‌مصرف کاتیونی با مولکول‌های آلی خاص برای تولید همتافت‌های فلزی آلی که کیلات نامیده می‌شوند وارد واکنش می‌گردند. اگر این همتافت‌ها محلول باشند، قابلیت استفاده‌ی عنصر کم‌مصرف را افزایش داده و آن‌را از واکنش‌های ترسیب حفظ می‌کنند. برعکس تشکیل یک همتافت غیرمحلول قابلیت استفاده عنصر کم‌مصرف را کاهش می‌دهد.

کیلات (از کلمه یونانی Chele به معنی پنجه) یک ترکیب آلی است که در آن ۲ و یا چند اتم قادرند با همان اتم فلزی پیوند تشکیل داده و بنابراین سبب ایجاد یک حلقه شوند. ممکن است این مولکول‌های آلی به‌وسیله‌ی ریشه‌ی گیاهان ساخته شده و در خاک اطراف آزاد شود، ممکن است در هموس خاک وجود داشته و یا ممکن است به‌صورت ترکیبات مصنوعی برای ارتقاء قابلیت استفاده‌ی عناصر کم‌مصرف به خاک اضافه شود. کاتیون‌ها در شکل همتافت از واکنش با اجزای معدنی خاک که سبب می‌شود به‌صورت غیرقابل استفاده برای جذب نبات درآیند، ممانعت می‌کنند. آهن، روی، مس، و منگنز جزء کاتیون‌هایی هستند که همتافت‌های کیلات تشکیل می‌دهند. دو نمونه از ساختمان حلقوی کیلات آهن در شکل ۱۳-۱۵ نشان داده شده است.

اثر کیلاته‌کردن می‌تواند در آهن مطابق روابط زیر تشریح گردد. در نبود کیلات وقتی یک نمک معدنی مانند سولفات فریک، به یک خاک قلیایی اضافه می‌شود بیشتر آهن بر اثر واکنش با هیدراکسید به‌سرعت طی واکنش زیر غیرقابل استفاده می‌گردد.

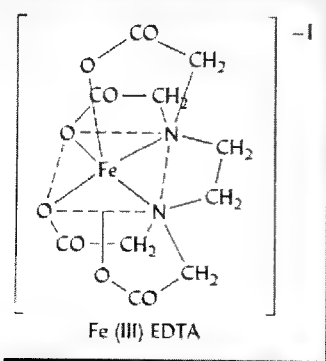


برعکس اگر آهن کیلاته گردد، بخش عمده‌ی آن در شکل کیلات باقی می ماند که برای جذب گیاه قابل استفاده می باشد. در این واکنش تمایل بر ایجاد کیلات آهن قابل استفاده می باشد:

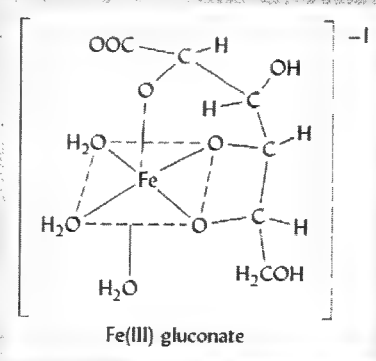


شکل ۱۲-۱۵ اثر تناوب زراعی در جذب روی و تشکیل قارچ-ریشه به وسیله لوبیا. لوبیای کشت شده در خاک (ارییدی سول Calcid) با آبیاری جوی پشته‌ای در ایالت آیداهو، به دنبال کشت ذرت، لوبیا و یا آیش در سال قبل. تناوب لوبیا به دنبال ذرت هم برای تشکیل قارچ-ریشه‌های ویزیکولار اریسکولار (VAM) و هم جذب روی در لوبیای سال دوم مطلوب بود.

سازوکاری که بر اثر آن عناصر کم مصرف کیلاتی به وسیله نباتات جذب می شوند در گیاهان مختلف متفاوت است. بسیاری از دو لپه‌ای‌ها، کاتیون فلزی کیلات را از سطح ریشه جدا نموده، آنرا احیا کرده (در مورد آهن) و ضمن آزاد کردن عامل کیلاتی آلی به داخل خاک کاتیون را جذب می کنند. مشخص شده است که ریشه‌های بعضی از گندمیان به خصوص تمام هم‌تافت فلز - کیلات را جذب کرده، سبب احیا و جدا سازی کاتیون فلزی در داخل یاخته ریشه شده، سپس کیلات آلی را به داخل محلول خاک بر می گردانند (شکل ۱۴-۱۵). در هر دو مورد به نظر می رسد که نقش اصلی کیلات این است که اجازه دهد کاتیون فلزی در محلول باقیمانده تا بتواند در داخل خاک به ریشه گیاه انتشار یابد. زمانی که کاتیون‌های کم مصرف داخل نبات رسیدند، ممکن است سایر کیلات‌های آلی (مانند سترات‌ها) به عنوان حامل کاتیون در بخش‌های مختلف نبات عمل کنند.



(الف)



(ب)

شکل ۱۳-۱۵ فرمول ساختمانی دو کیلات معمول آهن فریک: اتیلن دی آمین تتراسات (الف) و فریک گلوکونات (ب). در هر دو کیلات، آهن محفوظ شده است ولی می تواند مورد استفاده نبات قرار گیرد.

پایداری کیلات‌ها

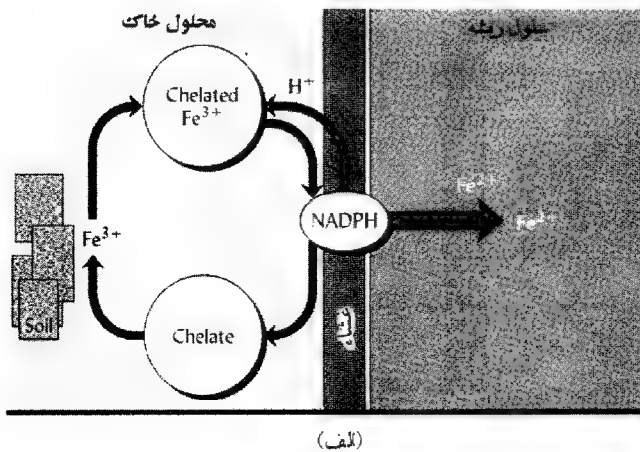
بعضی از عوامل کیلاته کردن مصنوعی عمده در جدول ۴-۱۵ آمده‌اند. ترکیبات مشابه بسیاری به صورت طبیعی در خاک وجود دارند. کیلات‌ها از نظر پایداری، و بنابراین تناسب آن‌ها به عنوان منابع عناصر کم مصرف متفاوت می‌باشند. پایداری کیلات به وسیله‌ی ثابت پایداری آن اندازه گیری می‌شود، و آن عبارتست از تمایلی که یک یون فلزی برای پیوند با کیلات دارد. اگر پیوند یک فلز و یا آزاد شدن آن به وسیله‌ی عامل کیلاتی با واکنش زیر معرفی گردد،



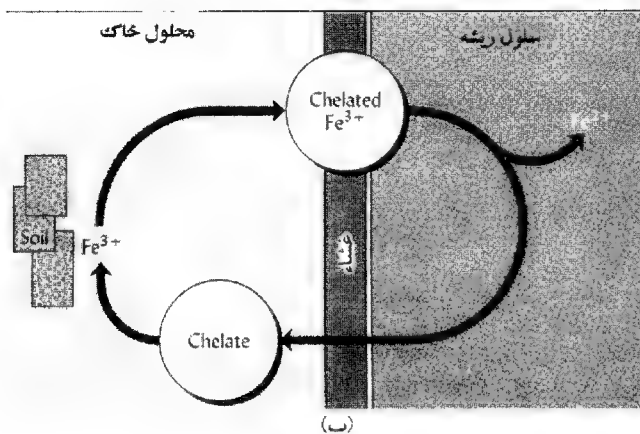
آنگاه ثابت پایداری K برای همتافت فلز - کیلات به صورت زیر محاسبه می‌شود. مقادیر در قلاب‌ها بیانگر غلظت محلول‌ها می‌باشند:

$$K = \frac{[\text{metal - chelate}]}{[\text{metal}][\text{chelate}]}$$

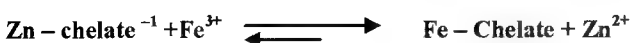
هرچه ثابت پایداری بزرگ‌تر باشد، تمایل فلز برای باقی ماندن به حالت کیلات بیشتر است. ثابت پایداری برای هر همتافت کیلات فلز متفاوت بوده و معمولاً برحسب لگاریتم K بیان می‌شود (جدول ۱۴-۱۵ را مشاهده کنید).



شکل ۱۴-۱۵ دو طریق که در آن‌ها گیاهان از ریزمغذی‌های نگهداری شده در شکل کیلاتی بهره می‌برند. (الف) نباتات دولپه‌ای مانند خیار و بادام زمینی تولید عوامل احیاکننده‌ی قوی (NADPH) می‌کنند که سبب احیا آهن در سطح خارجی غشاء ریشه می‌شود. سپس آن‌ها تنها آهن احیا شده را به داخل بایات جذب می‌کنند. کیلات آلی در داخل محلول خاک باقی مانده در آنجا می‌تواند اتم دیگر آهن را همتافت کند. (ب) گیاهان گندمی مانند گندم و ذرت ظاهراً تمام همتافت کیلات - فلز را در داخل یاخته‌های ریشه خود جذب می‌کنند. آن‌ها سپس آهن را جدا و احیا نموده و کیلات را به داخل محلول خاک برگشت می‌دهند.



ثابت پایداری برای برآورد این که کدام کیلات برای تأمین کدام عنصر کم مصرف بهترین می‌باشد سودمند است. برای آن که اثرات مفید یک کیلات فلزی اضافه شده به خاک تداوم داشته باشد، باید به طور معقولی در خاک پایدار باقی بماند. برای مثال پایداری EDDHA-Fe³⁺ ۳۳/۹ است اما ثابت پایداری EDDA - Zn²⁺ فقط ۱۶/۸ است (جدول ۴-۱۵). بنابراین می‌توانیم پیش‌بینی نماییم که اگر EDDHA-Zn به خاکی اضافه شود Zn در کیلات به سرعت و تقریباً به طور کامل به وسیله‌ی Fe³⁺ از خاک جایگزین می‌شود و Zn²⁺ در شکل غیرکیلاتی باقی مانده و در معرض ته‌نشینی قرار می‌گیرد:



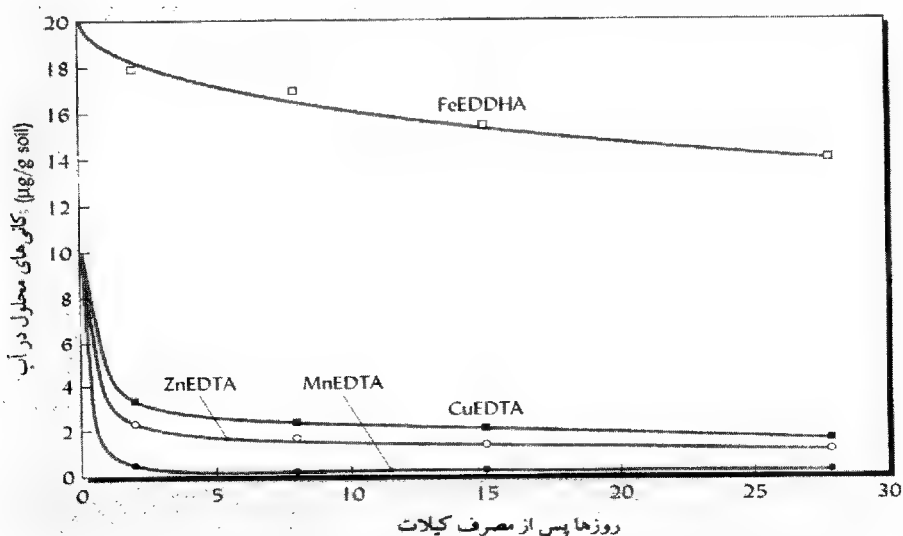
از آنجا که کیلات آهن پایدارتر از کیلات روی است، واکنش به سمت راست خواهد رفت و ین روی آزاد شده در معرض واکنش با خاک قرار خواهد گرفت. به همین ترتیب کلسیم می تواند سبب خارج شدن عناصر کم مصرف از کیلات گردد. گرچه ثابت پایداری برای کیلات کلسیم معمولاً کم است، ولی در عمل از آنجا که غلظت Ca^{2+} در محلول خاک بسیار بالاتر از غلظت سایر عناصر کم مصرف می باشد، کلسیم می تواند دیگر عناصر کم مصرف را از کیلات خارج سازد.

جدول ۱۴-۱۵ ثابت های پایداری (K) برای عوامل کیلاته کردن انتخاب مشخص و کاتیون های مغذی:

ثابت های پایداری به صورت لگاریتمی داده شده اند، بنابراین یک عدد تفاوت (۱) بیانگر ۱۰ برابر اختلاف در پایداری است. در جدول عنصر غذایی پر مصرف کلسیم نیز ضمیمه شده است زیرا یک کاتیون فلزی است که معمولاً دارای بزرگ ترین فعالیت در محلول خاک می باشد. بنابراین کلسیم با کاتیون های عناصر کم مصرف بر سر جاهای پیوند در عامل کیلاتی رقابت می کند. قیمت نسبی عوامل کیلات کننده هم در جدول آمده است.

قیمت نسبی در مقایسه با گلوکنات آهن بر اساس قیمت ۱۹۸۹	Log K						عامل کیلات کننده
	Ca^{2+}	Mn^{2+}	Cu^{2+}	Zn^{2+}	Fe^{2+}	Fe^{3+}	
۴/۴	۱۱/۰	۱۳/۸۱	۱۸/۷	۱۴/۸۷	۱۴/۲۷	۲۵	EDTA
۴۳	۷/۲	-	۲۳/۹۴	۱۶/۸	۱۴/۳	۳۳/۹	EDDHA
۵/۵	۸	۱۰/۷	۱۷/۴	۱۴/۵	۱۲/۲	۱۹/۶	HEEDTA
-	۴/۶۸	۳/۷	۵/۹	۴/۸۶	۴/۸	۱۱/۲	Citrate
۱	۱/۲۱	-	۳۶/۶	۱/۷	۱/۰	۳۷/۲	Gluconate

نیاید استنتاج کرد که فقط کیلات آهن مؤثر است. کیلات سایر عناصر کم مصرف از جمله روی، منگنز، و مس به طور موفقیت آمیز برای تأمین این عناصر غذایی به کار برده شده اند (شکل ۱۵-۱۵). جایگزینی سایر عناصر کم مصرف در کیلات به وسیله ی آهن خاک چنان آهسته است که امکان جذب آن ها را به گیاه می دهد. به علاوه، به دلیل محلول پاشی و مصرف نواری در تأمین روی و منگنز امکان واکنش این عناصر در کیلات با آهن و کلسیم خاک می تواند کاهش یافته و یا از بین رود.



شکل ۱۵-۱۵ کاهش قابلیت انحلال چهار کیلات عناصر کم مصرف وقتی در ۴ خاک آهکی با pH بالاتر از ۸ مصرف شدند. ثابت پایداری در جدول ۴-۱۵، رفتار این ۴ کیلات عناصر کم مصرف را که در شکل نشان داده شده اند توضیح می دهد. کیلات آهن در این خاک ها از همه پایدارتر بوده و کیلات منگنز کمترین پایداری را دارد. به خاطر مقادیر اندکی که گیاهان به آن نیاز دارند، حتی کیلات های مس و روی نیز احتمالاً عنصر کم مصرف لازم برای جذب گیاهی فراهم می کنند.

به‌رغم گرانی بسیار، استفاده از کیلات‌های مصنوعی در کشورهای صنعتی بسیار قابل توجه است آن‌ها عمدتاً برای اصلاح کمبودها در درختان میوه و گیاهان زینتی مورد استفاده‌اند. گرچه ممکن است کیلات جایگزین روش‌های مرسوم تأمین اکثر عناصر کم‌مصرف نگردد، اما امکانی را در موارد خاص ارائه می‌دهد. بعضی از کیلات‌کننده‌ها در کودهای ریزمغذی (عناصر کم‌مصرف) مورد استفاده قرار گرفته‌اند، مانند گلوکونات^۱، که به‌طور طبیعی موجود بوده و می‌تواند عناصر کم‌مصرف خاص را بسیار ارزان‌تر از ترکیبات آمینوپولی‌کربوکسیلات^۲ (برای نمونه EDDHA) تأمین کند. به‌نظر می‌رسد که تحقیقات کشاورزی و شیمیایی برای افزایش امکاناتی در استفاده مؤثر کیلات‌ها ادامه داشته باشد. به‌علاوه ممکن است با انتخاب ارقام گیاهی که ریشه آن‌ها عامل کیلاتی کردن مخصوص به‌خود را تولید می‌کند، و انجام عملیاتی که تولید عامل‌های کیلاتی کردن طبیعی را از تجزیه ماده‌ی آلی تقویت می‌کنند، از پدیده کیلاتی کردن برای بهبود حاصلخیزی عنصر کم‌مصرف در خاک‌ها کمال بهره‌برداری را به‌عمل آورد.

۷-۱۵ عوامل مؤثر در قابلیت استفاده‌ی آنیون‌های کم‌مصرف

برخلاف کاتیون‌های کم‌مصرف که همگی در مقادیر جزئی مورد نیاز گیاهان می‌باشند. عناصر کم‌مصرف آنیونی از تشابه کمتری برخوردارند. کلر، مولیدون و بُر از نظر شیمیایی کاملاً متفاوت بوده و مشابهت کمتری در واکنش آن‌ها با خاک قابل انتظار است.

کلر

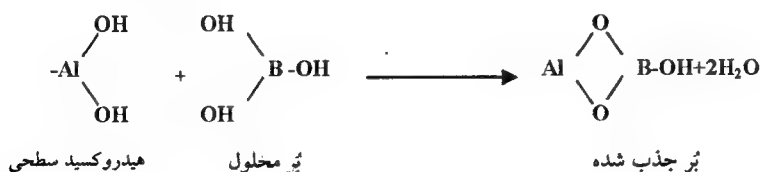
این آنیون به‌مقدار زیادی (زیادتر از تمام عناصر کم‌مصرف به‌استثای آهن) به‌وسیله‌ی اکثر نباتات زراعی جذب می‌شود. بخش اعظم کلر در خاک به‌صورت یون کلرید است که نسبتاً آزادانه از خاک‌های مناطق مرطوب آبشویی می‌گردد. در مناطق خشک و نیمه‌خشک غلظت بیشتری از آن در خاک قابل انتظار است، تا جایی که غلظت در خاک‌های شور دارای زه‌کشی ضعیف به حد سمیت می‌رسد. هرچند در اکثر مناطق با زه‌کشی مناسب نباید غلظت زیاد کلر را در خاک‌های سطحی مناطق خشک انتظار داشت.

شرایط معمول خاک (به‌استثای خاک‌های شور) در کاهش قابلیت استفاده و مصرف این عنصر نقشی ندارند. جمع‌آوری کلر نیوار همراه با کلر موجود در کودهای شیمیایی مانند کلورو پتاسیم، برای برآورد نیازهای اکثر گیاهان کافی می‌باشد. هرچند عکس‌العمل نبات به مصرف کلر برای گندم زمستانه مشخص شده است و به‌نظر می‌رسد به‌علت کاهش امراضی مانند "پاخوره"^۳ باشد. نخل‌های گرمسیری سازگار یافته در خاک‌های ساحلی که در آن‌جا اقیانوس کلر زیادی را پاشش می‌کند در صورت کاشت در خاک‌های دارای میزان کلر کم، علایم کمبود کلر را نشان می‌دهند مقادیر زیاد کلر می‌تواند میزان رشد و کیفیت بعضی از نباتاتی به‌خصوص نباتات از خانواده Solanaceae (گوجه‌فرنگی و غیره) را کاهش دهد.

بُر

یکی از معمول‌ترین عناصر کم‌مصرف دارای کمبود است. قابلیت استفاده بُر در ارتباط با pH خاک است این عنصر در خاک‌های اسیدی دارای بیشترین قابلیت استفاده بوده و در عین حال در خاک‌های شنی اسیدی نسبتاً به‌آسانی آبشویی می‌شود. بنابراین به‌رغم آن‌که کمبود بُر در خاک‌های شنی اسیدی تقریباً معمول است، علت آن عمدتاً به‌دلیل عرضه پایین بُر کل در خاک بوده و مربوط به قابلیت استفاده‌ی پایین بُر موجود در خاک نمی‌باشد.

بُر محلول در خاک‌ها عمدتاً به‌صورت اسید بوریک $[B(OH)_3]$ و یا $B(OH)_4^-$ می‌باشد. این ترکیبات می‌توانند با گروه‌های OH در لبه، و یا سطح کانی‌ها دارای بار متغیر، مانند کائولینیت و مخصوصاً اکسیدهای آهن و آلومینیوم، مورد تبادل قرار گرفته و واکنش‌هایی همانند زیر صورت گیرد:

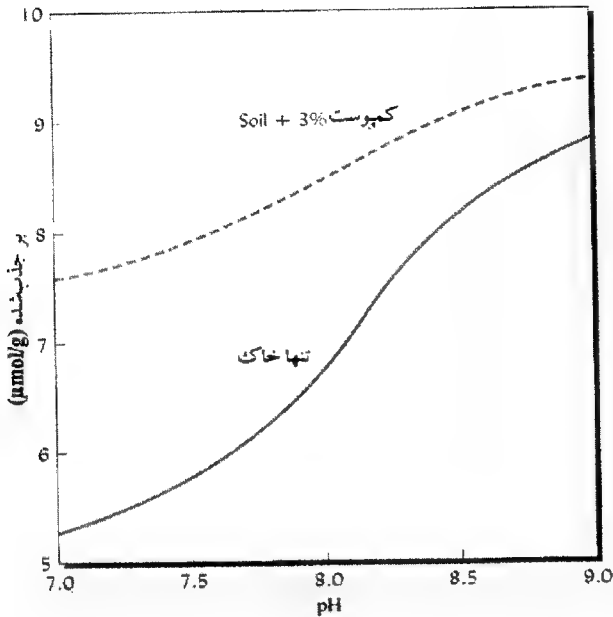


^۱- Gluconate

^۲- Aminopolycarboxylate

^۳- Take all

بُر که چنین جذب شده، در پیوند بسیار محکمی قرار داشته، به خصوص در pH بین ۷ و ۹ که دامنه‌ی کمترین قابلیت استفاده این عنصر می‌باشد. این امر شاید به دلیل کمبود بُر ناشی از آهک در بعضی از خاک‌ها با افزایش pH به ۷ و بالاتر باشد. بُر همچنین به وسیله‌ی هموس در جذب سطحی قرار می‌گیرد. قدرت پیوند آن‌ها حتی از کلویدهای معدنی بیشتر است. بُر همچنین یک جزء از ماده‌ی آلی خاک است که به وسیله‌ی معدنی شدن میکروبی آزاد می‌شود. در نتیجه، ماده‌ی آلی به عنوان یک مخزن عمده بُر در بسیاری از خاک‌ها ایفای نقش نموده و مدیریت قابل ملاحظه‌ای بر روی قابلیت استفاده این عنصر غذایی اعمال می‌کند. جذب بُر به وسیله‌ی کلویدهای آلی و معدنی با بالا رفتن pH افزایش می‌یابد (شکل ۱۶-۱۵).

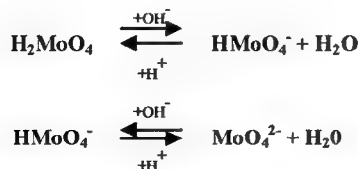


شکل ۱۶-۱۵ اثر ماده‌ی آلی (در این آزمایش به صورت کمپوست اضافه شده است) و pH خاک بر روی جذب بُر. علاوه بر رس ترکیبات هومیکی در ماده‌ی آلی تجزیه شده، بُر را جذب می‌کنند. ظرفیت جذب رس و ترکیبات هومیکی با افزایش pH در دامنه‌ی خشی تا قلیایی می‌یابد. درحالی که جذب بُر غلظت آن را در محلول خاک، و در نتیجه قابلیت استفاده آن را به وسیله‌ی نبات، کاهش می‌دهد و از هدررفت بُر بر اثر آبشویی جلوگیری می‌کند. این مطالعه در زیر گروه Calcic Haploxeralfs انجام گرفته است.

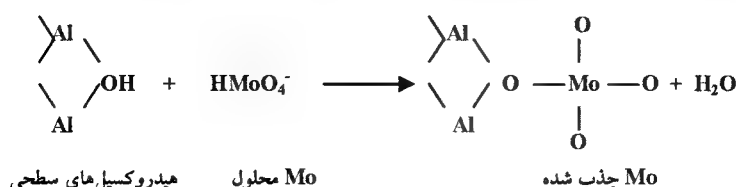
قابلیت استفاده بُر در اثر دوره‌های خشک طولانی به خصوص به دنبال دوره‌هایی با شرایط بهینه‌ی رطوبت صدمه می‌بیند. این شاید مربوط به این واقعیت باشد که جذب بُر معمولاً بر اثر جریان آب تبخیری باشد تا انتقال فعال بُر که در مورد اکثر عناصر کم مصرف معمول است. شرایط خشک هم ممکن است معدنی شدن بُر نگهداری شده در شکل آلی را در دوره‌های خشک کاهش دهد. کمبود بُر همچنین در خاک‌های اریدی سول آهکی و خاک‌های خشی تا قلیایی با pH بالا معمول است.

مولیبدون

pH خاک مهم‌ترین عامل مؤثر در قابلیت استفاده و جذب مولیبدون به وسیله‌ی نبات است. واکنش‌های زیر نشان‌دهنده‌ی اشکال این عنصر در pH بالا و پایین خاک می‌باشد.



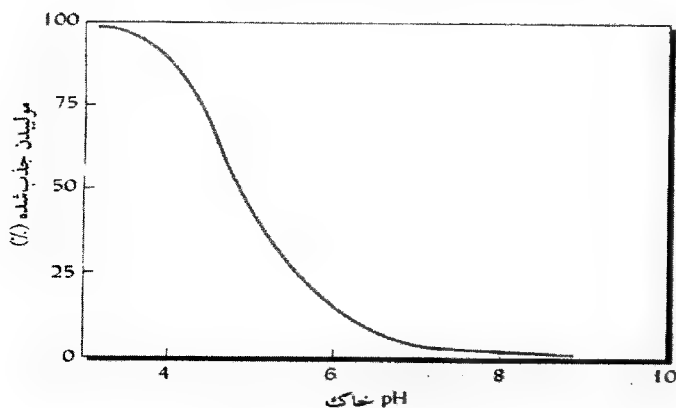
در سطوح pH پایین، مولبدن به وسیله‌ی رس‌های سیلیکاتی و به ویژه با اکسیدهای آهن و آلومینوم با تبادل یون‌های هیدراکسیل در سطح ذرات کلوییدی جذب می‌شود و واکنش‌هایی به شکل زیر صورت می‌گیرند:



آهک‌دادن خاک‌های اسیدی معمولاً سبب افزایش قابلیت استفاده‌ی مولیدون می‌شود (شکل ۱۷-۱۵). اثر چنان چشم‌گیر است که بعضی از محققین، به‌خصوص در استرالیا و زلاندنو، استدلال می‌کنند که دلیل اصلی برای آهک‌دادن خاک‌های خیلی اسیدی تأمین مولیدون می‌باشد. گرچه در بعضی موارد، اضافه‌کردن فقط ۳۰ گرم مولیدون به خاک‌های اسیدی همان اثر مصرف چند تن آهک را در افزایش عملکرد سبب شده است.

به‌نظر می‌رسد که فسفات در رقابت باین مولیدات برای به‌دست‌آوردن محل‌های جذب در سطح کلویدهای خاک سبب بهبود قابلیت استفاده‌ی مولیدون می‌گردد. به این دلیل، نمک مولیدات اغلب همراه با مواد حامل فسفات در خاک‌های دارای کمبود مولیدون مصرف می‌شود. این روش ظاهراً جذب هر دو عنصر را در نبات تقویت نموده و روش مطمئنی برای اضافه‌کردن مقادیر فوق‌العاده اندک مولیدون موردنیاز نبات می‌باشد. بذره‌ای نیام‌داران بر اثر پوشش‌دادن با مخلوط سوپرفسفات و مولیدات سدیم برای بهبود کیفیت چرما در اراضی اسیدی مرتعی ساوانا به‌طور موفقیت‌آمیزی مورد استفاده قرار گرفته است.

به‌نظر می‌رسد که دومین آنیون معمول در خاک‌ها یعنی یون سولفات اثر مخالفی را بر استفاده نبات از مولیدون داشته باشد، سولفات سبب کاهش جذب مولیدون گردیده، و به‌نظر می‌رسد با مولیدون برای به‌دست‌آوردن محل‌های عامل در ترکیبات سوخت‌وسازی نبات رقابت داشته باشد.



شکل ۱۷-۱۵ اثر pH بر روی جذب مولیدون در یک خاک شن لومی سری هسپریا در کالیفرنیا. جذب بالا در مقادیر کم pH کمبود مولیدون می‌شود. به همین ترتیب در مقادیر بالای pH مولیدون جذب نشده و برای جذب به‌وسیله نبات در بعضی مواقع تا حد سمیت آزاد می‌باشد.

سelenium

مدیریت سelenیم در خاک‌ها و نباتات برای سلامت انسان و احشام در بسیاری از مناطق دنیا لازم می‌باشد. این امر ساده نیست زیرا در طبیعت سelenیم در ۴ شکل جامد وجود دارد، سانات SeO_4^{2-} ، سلتیت (SeO_3^{2-}) سelenیم عنصری (Se^0) و سلتید (Se^{2-}) . سelenیم همچنین در ترکیبات فرار مانند دی‌متیل سلتید و دی‌متیل دی‌سلنید که می‌توانند به‌صورت گاز به نیوار تصعید گردند، وجود دارد.

در شرایط اسیدی (۴/۵ - ۶/۵) pH شکل سلتیت غالب است. این شکل به‌دلیل جذب به‌وسیله اکسیدهای آهن، با تأثیری قابل‌استفاده می‌باشند. سلتیت‌ها را می‌توان برای تسکین کمبود سelenیم مورد استفاده قرار داد، هرچند به‌نظر نمی‌رسد آن‌ها سبب ایجاد مسمومیت سelenیم گردند. در pH بالاتر از ۷/۵ - ۸/۵ و در خاک‌هایی با تهویه خوب، سانات محلول‌تر غالب بوده و ایجاد سمیت می‌کند. در شرایط غیرهوازی، ریزجانداران می‌توانند سانات و سلتیت را به سلتید و سelenیم عنصری جامد احیا کنند^۱، که هردو آن‌ها غیرمحلول هستند. از این امر می‌توان برای حذف سelenیم محلول در آب و خاک بهره گرفت، که یک فرایند نویدبخش بوده که به آن حذف سمیت از طریق زیستی^۲ گویند. در آب‌های دارای سelenیم که در مخازن دارای پوشش گیاهی و یا در اراضی باتلاقی نگهداری می‌شوند، احیا صورت گرفته و سelenیم غیرمحلول در ته استخر جایگزین می‌شود در صورت زه‌کشی، شرایط هوازی غالب شده و باعث اکسایش مجدد سelenیم به ترکیبات بسیار محلول‌تر می‌شود که می‌تواند سمیت ایجاد کند. به‌علاوه در استخرها گیاهان تغذیه‌کننده کف‌زی حتی می‌توانند مقداری از سelenیم را در اشکال احیاشده غیرمحلول برداشت کنند این سبب جایگزینی سelenیم در زنجیره غذایی می‌شود که باعث صدماتی به حیوانات وحشی، و هم حیوانات اهلی که این نباتات را مصرف می‌کنند، می‌گردد.

^۱ تحقیقات جدید نشان داده‌اند که احیاء غیرزیستی سانات نیز در حضور هیدراکسیدهای فرو و فریک صورت می‌پذیرد $[\text{Fe(II)}_2 \text{ Fe(III)}_6 (\text{OH})_{12}] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (که در آن $a = 1-2$ و $b = 1-2$ یک آنیون مانند سانات SeO_4^{2-} میباشد) یک ترکیب که به اسم زنگ سبز نامیده میشود و در خاکهای غرقابی مشاهده میشود

^۲ Bioremediation

احیا میکروبی همچنین سبب تولید ترکیبات فرار می شود (برای مثال دی متیل سلفید) که می تواند به نیوار آزاد گردد، گازه‌ها به طور نسبی برای نبات غیر سمی بوده و می توانند به سرعت از مناطق دارای سلنیم زیاد به سایر نقاط، که دارای کمبود سلنیم می باشند حرکت کنند. به این دلیل، ایجاد ترکیبات فرار سلنیم به عنوان وسیله‌ای برای کاهش سطح سمیت سلنیم در آب و خاک مورد ملاحظه قرار گرفته است.

۸-۱۵ نیاز به تعادل عناصر غذایی

حفظ تعادل در بین عناصر کم مصرف اساسی است، اما نگهداری آن به مراتب مشکل تر از تعادل در بین عناصر پر مصرف می باشد. بعضی از سامانه‌های آنژیومی که وابسته به عناصر کم مصرف می باشند، نیازمند به پیش از یک عنصر می باشند. برای نمونه هر دو عنصر مولیبدون و منگنز برای هضم و جذب نیترات به وسیله نباتات لازم می باشند. اثرات سودمند ترکیب فسفات و مولیبدون قبلاً مورد بحث قرار گرفت. ظاهراً بعضی از نباتات نیازمند روی و فسفر برای استفاده ی بهینه از منگنز می باشند. استفاده از بُر و کلسیم در رابطه با تعادل مناسب بین این دو عنصر غذایی است. رابطه ی مشابهی بین پتاسیم و مس، و بین پتاسیم و آهن در تولید سیب زمینی مرغوب موجود است. استفاده از مس نیازمند منگنز کافی است که در بعضی نباتات فقط وقتی جذب و هضم می شود که روی در مقادیر کافی وجود داشته باشد. البته، اثرات این عناصر غذایی و دیگر عناصر وابسته به نبات خاص کشت شده خواهد بود، اما پیچیدگی موضوع را با توجه به مثال‌های ارائه شده می توان مشاهده نمود.

ناهمسازی و همسازی عناصر غذایی^۱

بعضی از واکنش‌های آنژیومی و زیست شیمیایی نیازمند به یک عنصر کم مصرف، ممکن است با حضور عنصر غذایی کم مصرف دیگر در حد سمیت مسموم گردند. سایر اثرات منفی بر اثر رقابت یک عنصر با عنصر دیگر، و کاهش جذب آن به وسیله ریشه نبات صورت می پذیرد. از طرف دیگر ممکن است. این مناسب یک عنصر غذایی به خصوص سبب ارتقاء استفاده از عنصر دوم گردد که تحت واژه اثرات^۲ همساز نامیده شده است. بعضی از این اثرات متقابل در جدول ۵-۱۵ خلاصه شده اند.

ممکن است بعضی از اثرات ناهم ساز^۳ برای کاهش سمیت عناصر کم مصرف خاص به طور مؤثر مورد استفاده قرار گیرد. برای نمونه، سمیت مس در باغ مرکبات که بر اثر مس باقیمانده از مصرف قارچ کش‌های پاششی حاصل می شود ممکن است با اضافه کردن کودهای آهن و فسفات دار به آن کاهش یابد. ممکن است افزودن گوگرد به خاک‌های آهکی دارای مقادیر مولیبدون در حد سمی قابلیت استفاده، و بنابراین سمیت مولیبدون را کاهش دهد. تراکم بیش از حد فسفر، منگنز و منیزیم در گیاهان دارای کمبود روی، مثالی از برهمکنش پیچیده‌ای در بین عناصر اساسی بوده که در تغذیه نبات مؤثر می باشد.

جدول ۵-۱۵ بعضی از اثرات ناهم ساز (منفی) و هم ساز (مثبت) عناصر غذایی بر استفاده از عناصر کم مصرف به وسیله نبات وجود این برهم کنش تاکید بر احتیاج به حفظ تعادل در میان تمام عناصر غذایی، و اجتناب از مصرف بیش از حد یک عنصر خاص می باشد.

عنصر کم مصرف	عناصری که استفاده را کاهش می دهند		عناصری که استفاده را افزایش می دهند	
	واکنش‌های خاک و سطح ریشه	واکنش‌های سوخت و سوز	واکنش‌های خاک و سطح ریشه	واکنش‌های سوخت و سوز
Fe	B, Cu, Zn, Mo, Mn	Mn, Mo, P, S, Zn	B, Mo	--
Mn	Fe, B	Fe	B	--
Zn	Mg, Cu, B, Fe, P	Fe, N	N, B	Fe, Mg
Cu	B, Zn, Mo	P, N, Ca, Mg	B	--
B	Ca, K	--	--	N
Mo	S, Cu	S	P	P
Ni	Ca, Fe	Fe, Zn	--	--

این نمونه‌ها از برهمکنش عناصر غذایی مثبت و یا زیانبار، بر طبیعت بسیار پیچیده تغییر شکل‌های زیستی، که در آن‌ها عناصر کم مصرف شرکت دارند، تاکید دارد. مساحت کل اراضی، که در آن‌ها تعادل‌های غیر مطلوب عناصر غذایی، به دلیل انجام زراعت‌های پرنهاده‌ی متمرکز در خاک‌ها نیازمند مرمت خاص است، در حال افزایش می باشد.

^۱ - Antagonism & Synergism

^۲ - Synergistic effects

^۳ - Antagonistic effects

۹-۱۵ مدیریت خاک و نیازهای عناصر کم مصرف

با وصف این که خصوصیات هر عنصر کم مصرف کاملاً مشخص می باشد، یک جمع بندی کلی با توجه به عملیات مدیریتی امکان پذیر است. در جستجوی علت غیرعادی بودن نبات باید شرایطی را که در آن کمبود و یا سمیت عناصر کم مصرف احتمالاً صورت می پذیرد در نظر داشته باشیم. به احتمال زیاد کمبود عناصر کم مصرف در خاک های شنی، ماک و خاک هایی که دارای مقادیر pH خیلی پایین و یا خیلی بالا می باشند ایجاد خواهد شد. ممکن است مناطق دارای زراعت پرنهاده با مصرف سنگین کودهای حاوی عناصر پرمصرف در عناصر کم مصرف کمبود داشته باشند.

تغییرات در اسیدیته خاک

در خاک های خیلی اسیدی باید انتظار سمیت آهن، منگنز و کمبود فسفر و مولیدون را داشت. این مسایل می توانند با مصرف آهک و اضافه نمودن کودهای شیمیایی مناسب اصلاح گردند. ممکن است خاک های آهکی دارای کمبود آهن، منگنز، روی و مس، و در مواردی معدود، سمیت مولیدون باشند.

نظر خاصی را در ارتباط با مناسب ترین مقدار pH برای تمام عناصر نمی توان ابراز داشت، هرچند خاک هایی با بافت متوسط هنگامی که pH آنها در فاصله ۶ تا ۷ حفظ شود مقادیر کافی را از عناصر کم مصرف تأمین خواهند کرد. در خاک های شنی pH نسبتاً کمتر قابل توجهی است. زیرا مقدار کل عناصر کم مصرف پایین می باشد. ممکن است حتی در pH ۶ کمبود بعضی از کاتیون ها رخ دهد. مهم این است که باید برای تشخیص افزایش ناخواسته pH خاک همانند آنچه که از استعمال لجن فاضلاب پایدار شده (با مصرف آهک) (فصل ۱۶)، و یا آبشویی سنگ ریزه ها و پیاده روی های آهکی حاصل می شود، هشدار و آماده بود (شکل ۸-۱۵ را مشاهده کنید).

رطوبت خاک

زه کشی و تنظیم رطوبت می توانند در پایداری عناصر کم مصرف در خاک ها مؤثر باشند. بهبود زه کشی خاک های اسیدی سبب تشکیل اشکال اکسید شده ی آهن و منگنز می گردد، که کمتر محلول بوده و در شرایط اسیدی بسیار کمتر از اشکال احیا شده سمی می باشند. غرقاب کردن خاک سبب احیای اشکال آهن و منگنز خواهد شد که برای گیاهان دارای قابلیت استفاده بیشتری می باشند (شکل ۱۸-۱۵). رطوبت اضافی در pH بالا دارای اثرات عکس است. زیرا خاک های با زه کشی ضعیف دارای غلظت بالایی از گاز کربنیک می باشند که ایجاد یون های بی کربنات را تقویت نموده و سبب کاهش قابلیت استفاده آهن خواهند شد. زه کشی ضعیف سبب افزایش قابلیت استفاده مولیدون تا حد سمیت این عنصر برای نباتات در بعضی از خاک های قلیایی می گردد.

مصرف کود شیمیایی

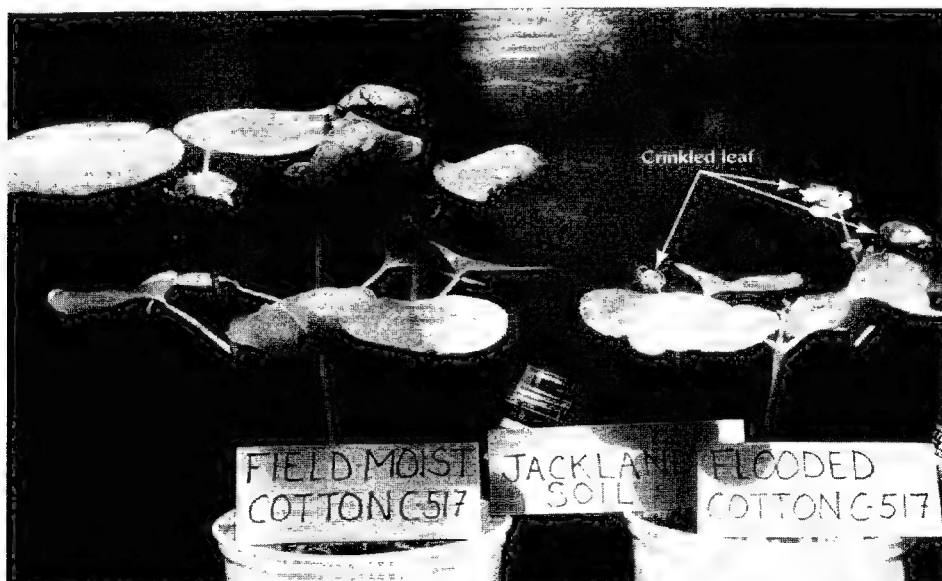
به نظر نمی رسد کمبود عناصر کم مصرف در اکثر خاک ها، که در آن ها پس مانده های گیاهی به خاک برگشت داده می شود و مواد اصلاح کننده مانند کود دامی و یا لجن فاضلاب به طور منظم استعمال می گردند، مسأله ای را ایجاد کند. کود دامی مورد استفاده به میزان کافی برای تأمین نیازهای عناصر پرمصرف، دارای مقادیر کافی مس، روی، منگنز و آهن نیز برای تأمین بخش عمده نیازهای عناصر کم مصرف در خود می باشد (جدول ۹-۱۶ را مشاهده کنید). به علاوه کیلات ایجاد شده از کود دامی سبب ارتقای قابلیت استفاده این عناصر کم مصرف می شود. با این وصف معمول ترین عملیات مدیریتی برای غلبه بر کمبود عناصر کم مصرف (و بعضی سمیت ها) مصرف کود شیمیایی است. نمونه های از انواع کودهای شیمیایی برای تأمین عناصر کم مصرف در جدول ۶-۱۵ آمده است. این مواد به طور معمول در خاک استعمال می گردند. گرچه پاشیدن برگ ۱، و حتی آغشته کردن بذر نیز می تواند مورد استفاده قرار گیرد. پاشیدن برگی نمک های رقیق معدنی و یا کیلات های آلی بسیار مؤثرتر از مصرف آن ها در خاک است که در آن pH بالا و سایر عوامل سبب غیر قابل استفاده بودن عناصر غذایی مصرف شده می گردند. در استعمال کود در خاک به طور نواری حدود ۴/۲ تا ۲/۱ میزان کود شیمیایی مورد مصرف در توزیع دستی مورد نیاز است (شکل ۲۵-۱۶ را مشاهده کنید). و حدود ۱۰/۵ تا ۵/۱ میزان کود شیمیایی مورد مصرف توزیع دستی در پاشش برگی لازم می باشد، هرچند مصرف برگی ممکن است نیازمند مصرف کود در چندین بار در سال باشد. آغشته نمودن بذر با میزان اندک (۴۰ - ۲۰ گرم در هکتار) مولیدون سبب کسب نتایج رضایت بخش در خاک های اسیدی دارای کمبود مولیدون گردیده است. میزان مصرف عناصر کم مصرف در خاک در جدول ۷-۱۵ آمده است.

عناصر کم‌مصرف می‌توانند هم به‌صورت مواد جداگانه و یا با مخلوط‌کردن با کودهای استاندارد عناصر پرمصرف در خاک استعمال گردند. متأسفانه قابلیت انحلال مس، آهن، منگنز و روی با این مخلوط‌کردن کاهش خواهد یافت، اما بُر و مولیدون به‌صورت محلول به‌طور معقول باقی خواهند ماند. کودهای شیمیایی مایع عناصر پرمصرف حاوی پلی‌فسفات سبب ایجاد همتافت‌هایی خواهند شد که عناصر کم‌مصرف اضافه‌شده را از واکنش منفی حفظ می‌کند. در عمل پلی‌فسفات‌ها در محلول کودی همانند یک عامل کیلاتی عنصر کم‌مصرف عمل می‌کنند مهره‌های شیشه‌مانند متخلخل با سطح مخصوص زیاد که فریتس^۱ و یا خمیر شیشه نامیده می‌شوند با مخلوط‌کردن بُر، مس، روی و سایر عناصر کم‌مصرف با شیشه در کارخانه ساخته می‌شود. این مواد گداخته‌شده عناصر کم‌مصرف خود را وقتی در خاک در معرض هوادهی قرار می‌گیرد با تائی آزاد می‌کنند. این کُندی آزادشدن از پاره‌ای مسایل مانند ترسیب و یا جذب عناصر به‌وسیله کلویید به‌خصوص در خاک‌های قلیایی جلوگیری می‌کند.

پاسخ اقتصادی به مصرف عناصر کم‌مصرف، با توجه به گسترش نظام تولید متراکم پرنهاده در حال افزایش است. برای نمونه پاسخ میوه‌ها، سبزی‌ها و محصولات مزرعه‌ای به مصرف روی و آهن در خاک‌های خشی و قلیایی معمول می‌باشد. حتی در خاک‌های اسیدی با کمبود این عناصر به‌طور مداوم مواجه می‌باشیم. مولیدون، که در بعضی موارد برای گیاهان علوفه‌ای، کلم گل و سایر سبزی‌های مورد استفاده بوده است در سال‌های اخیر برای خزانه‌های درختان جنگلی و سویا، به‌خصوص در خاک‌های اسیدی مورد توجه قرار گرفته است. این مثال‌ها، همراه با مثال‌هایی از مناطق دارای ماک و خاک‌های شنی که عناصر کم‌مصرف برای ده‌ها سال در آن‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند، نیاز به این عناصر را برای حفظ عملکرد بهینه آشکار می‌سازند.

یک خاک اغلب سبب بروز یک کمبود در بعضی از نباتات شده اما در بقیه نباتات کمبودی ایجاد نمی‌کند. گونه‌های گیاهی و ارقام موجود در یک گونه از نظر حساسیت به کمبود عناصر کم‌مصرف، و یا سمیت آن‌ها متفاوت می‌باشند جدول ۷-۱۵ نمونه‌هایی از گونه‌های گیاهی را که از نظر حساسیت و یا مقاومت به عناصر کم‌مصرف مختلف شناخته شده می‌باشند، ارائه می‌کند.

اختلافات چشم‌گیر و نیاز محصولات زراعی به عناصر کم‌مصرف سبب می‌شود که کوددادن در جاهایی که تناوب اعمال گردد پرسأله باشد. در مزارع با محصولات عمومی، سبزی‌ها در بعضی مواقع در تناوب با زراعت غلات دانه‌ریز و علوفه می‌آید. اگر مصرف بر برای سبزی‌هایی مانند لُب و حتی یونجه کافی باشد. زراعت غلات دانه‌ریز که در تناوب به آن‌ها کشت می‌شود ممکن است صدمات ناشی از سمیت را بروز دهد. این واقعیات احتیاج به تعیین نیازهای غذایی محصولات را به‌طور اختصاصی، و احتیاط لازم را برای برآورد این نیازها، مورد تأیید قرار می‌دهند.



شکل ۱۸-۱۵ سمیت منگنز در نباتات جوان پنبه که بر اثر رطوبت خاک در سه هفته قبل از کاشت بذر پنبه تحت تأثیر قرار گرفته است. علامت پیچیدگی برگ و رشد متوقف شده بر اثر مقادیر سمی منگنز در خاکی است که قبل از کشت غرقاب گردیده بود. مقدار رطوبت هر دو ظرف از کاشت تا برداشت در ظرفیت مزرعه نگهداری شده است. خاک جک لند (اکویک هاپلودولت) مورد استفاده دارای کانی‌های حاوی منگنز بوده و دارای pH آن حدود ۵/۸ می‌باشد.

جدول ۶-۱۵ کودهای شیمیایی معمول مورد استفاده در تأمین عناصر کم مصرف

عصر کم مصرف	کود مورد استفاده معمول و فرمول شیمیایی آن	درصد عناصر
بر	بوراکس $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	۱۱
بر	سدیم پنتابورات $\text{Na}_2\text{B}_{10}\text{O}_{16} \cdot \text{H}_2\text{O}$	۱۸
مس	سولفات مس $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	۲۵
آهن	سولفات فرو $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	۱۹
آهن	کیلات های آهن NaFe EDDHA	۶
منگنز	سولفات منگنز $\text{MnSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	۲۶-۲۸
منگنز	اکسید منگنز MnO	۴۱-۶۸
مولیدون	مولیدات سدیم $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	۳۹
مولیدون	مولیدات آمونیوم $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	۵۴
روی	سولفات روی $\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	۳۵
روی	اکسید روی ZnO	۷۸
روی	کیلات روی $\text{Na}_2\text{Zn EDTA}$	۱۴

انتخاب و اصلاح نژاد

اختلافات در گونه های مختلف نباتی و یا گیاهان انفرادی در داخل یک گونه به تجمع عناصر کم مصرف، انتخاب و اصلاح نژاد را به عنوان^۱ روش مهم احتمالی برای غلبه بر کمبودها و زیاده بود این عناصر مطرح می سازند. برای مثال بعضی از گونه های گون^۱ و استانیله^۲ پنج برابر غلات مانند گندم و چاودار، سلنیم در خود تمرکز می دهند، همین طور سقر سیاه^۳ *Nyassa sylvatica* جمع کننده ی کبالت است. پاک سازی زیستی^۴ ممکن است از این جمع کنندگان در جدا کردن عناصر کمیاب از داخل خاک آلوده استفاده کند (بخش ۶-۱۸ را مشاهده کنید). اختلافات مشابهی در مقاومت توارثی به کمبود مشاهده می شود. تحقیقات جدید مطرح می کنند که اصلاح نباتات و یا فناوری زیستی می تواند گونه های گیاهی انتخاب و یا ایجاد کند که به طور کارا عناصر کمیاب را جذب کرده و یا به مقادیر زیاد آن ها در خاک مقاوم باشد این امر نیاز به همکاری بیشتر را بین متخصصین نبات و خاک در مدیریت عناصر کم مصرف آشکار می سازد.

قابلیت استفاده عناصر کم مصرف

منابع عمده ی عناصر کم مصرف و واکنش های کلی که آن ها را برای نباتات عالی و ریزجانداران قابل استفاده می سازند، در شکل ۱۹-۱۵ خلاصه شده است. کانی های اصلی و ثانویه منابع عمده این عناصر می باشند، هر چند تجزیه ی مواد آلی سبب آزاد شدن یون های به داخل محلول خاک می گردد. عناصر کم مصرف به وسیله ی گیاهان عالی و ریزجانداران در فرایندهای مهم بقای زیستی مورد استفاده قرار می گیرند. برداشت عناصر غذایی در محصولات زراعی و یا الوارهای برداشت شده، منابع یون های محلول را کاهش داده، و ممکن است لازم باشد با استفاده از کود دامی و یا کودهای شیمیایی برای جلوگیری از کمبود آن ها این عناصر کم مصرف جبران گردند.

^۱- *Astragalus*

^۲- *Stanlya*

^۳- Black gum

^۴- Bioremediation

جدول ۱۵-۷ گیاهانی که اختصاصاً از نظر حساسیت و یا مقاومت به شرایط خاک در بروز کمبود عناصر کم مصرف، شناخته شده‌اند.

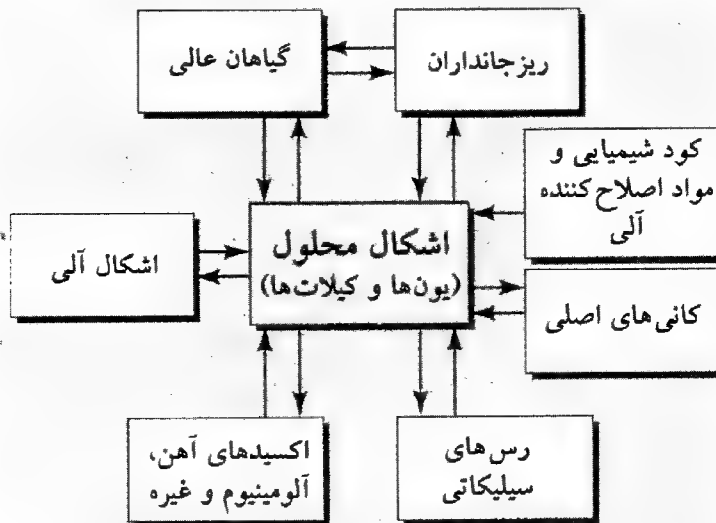
(گیاهانی که به کمبود یک عنصر کم مصرف بسیار حساس می‌باشند، اغلب دارای نیازمندی نسبتاً زیادی به آن عنصر می‌باشند و ممکن است به مقادیر زیاد آن عنصر کم مصرف که ایجاد سمیت می‌کند مقاوم باشند)

نوع عنصر کم مصرف	دامنه‌ی معمول در مقادیر پیشنهادی برای مصرف در خاک kg/ha *	گیاهانی که به‌طور معمول کمبود نشان می‌دهند (نیاز بالا و یا کارایی جذب کمتر)	گیاهانی که به‌ندرت کمبود نشان می‌دهند (نیاز کم و یا دارای کارایی جذب بالا)	شرایط خاک که معمولاً در ارتباط با کمبود می‌باشد
آهن	۰/۵-۱۰	زغال‌اخته، آزالیا، گل سرخ، درخت خاس، انگور، درختان میوه هسته‌دار، افرا، لوبیا، ذرت علوفه، بلوط	گندم، یونجه، آفتاب گردان، پنبه	خاک‌های آهکی با pH بالا خاک‌های ماندابی قلیایی
منگنز	۲-۲۰	نخودها، یولاف، سیب، چغندرقلند، تمشک، مرکبات	پنبه، سویا، برنج، گندم	خاک‌های آهکی با pH بالا، اراضی زه‌کشی شده، ماده‌ی آلی اندک، خاک‌های شنی
روی	۰/۵-۲۰	ذرت، پیاز، کاج‌ها، سویا، لوبیا، گردو امریکایی، برنج، هلو، انگور	هویج، مارچوبه، گل‌رنگ، نخود، بلوط، چلیپاییان، علف‌ها	خاک‌های آهکی، خاک‌های اسیدی شنی، فسفر زیاد
مس	۰/۵-۱۵	گندم، ذرت، پیاز، مرکبات، کاهو، هویج	لوبیا، سیب‌زمینی، نخود، مرغ، چمن‌ها، کاج	خاک‌های هیستوسول، خاک‌های خیلی اسیدی شنی
بر	۰/۵-۵	یونجه، کلم گل، کرفس، انگور، سوزنی‌برگان، سیب درختی، بادام‌زمینی، چغندر، کلزا، کاج‌ها	جو، ذرت، پیاز، چمن، زغال‌اخته، سیب‌زمینی، سویا	کمبود ماده‌ی آلی، خاک‌های اسیدی شنی، خاک‌های تازه‌آهک‌خورده، خاک‌های خشک، خاک‌های بارس ۲:۱ زیاد
مولیبدون	۰/۵-۰/۵	یونجه، شیدر شیرین، چلیپاییان (کلم بروکسل، کلم گل)، مرکبات، اکثر نیام‌داران	اکثر گیاهان گندمی	خاک‌های اسیدی شنی، خاک‌های خیلی هوازده با آهن و آلومینیوم بی‌شکل

* عدد پایین در این دامنه برای مصرف نواری و عدد بالا مربوط به مصرف دست‌پاش توزیعی می‌باشد.

مسایل مدیریت عناصر کم‌مصرف در مقیاس جهانی

کمبود عناصر کم‌مصرف در اکثر مناطق تولید کشاورزی و بعضی مناطق جنگلی آمریکا و اروپا مشخص شده و گزارش گردیده است. هرچند در بعضی از کشورهای درحال توسعه، به‌خصوص در مناطق حاره‌ای، گستره‌ی این کمبودها بسیار ناشناخته می‌باشد. محدودی تحقیقات مطرح می‌کنند که ممکن است اراضی وسیعی با کمبود و یا سمیت یک و یا چندین عنصر وجود داشته باشند. طرح‌های آبیاری که خاک‌های آهکی را در اراضی بیابانی را زیرکشت می‌آورند اغلب به کمبود آهن، روی، مس و منگنز مبتلا می‌شوند. کمبود مس و روی در خاک‌های خیلی هوازده در مناطق گرمسیر مرطوب و نیمه‌مرطوب در غلات مورد توجه قرار گرفته است. با رفع کمبود عناصر پرمصرف بالا رفتن مقدار عملکرد، کمبود هرچه‌بیشتر عناصر کم‌مصرف بدون‌شک در پیش‌رو خواهد بود. عامل دلگرم‌کننده این است که مقدار عناصر کم‌مصرف مورد نیاز اغلب کم بوده و سبب می‌شود حمل‌ونقل آن‌ها به نقاط دوردست در مقایسه با کودهای شیمیایی حاوی عناصر پرمصرف با هزینه‌ی بسیار کمتری انجام گیرد. اصول مدیریت استقرار یافته برای کشورهای توسعه‌یافته‌ی اقتصادی احتمالاً برای رفع کمبودهای عناصر کم‌مصرف در کشورهای کمتر توسعه‌یافته نیز مفید می‌باشند.



شکل ۱۹-۱۵ نمودار منابع اشکال محلول عناصر کم‌مصرف در خاک و استفاده از آن‌ها به‌وسیله‌ی گیاهان و ریزجانداران در خاک

۱۰-۱۵ نتیجه‌گیری نهایی

اهمیت عناصر کم‌مصرف در کشاورزی در مقیاس جهانی، با توجه به برداشت هرچه‌بیشتر این عناصر اساسی به‌وسیله‌ی محصولات، به‌طور مداوم درحال افزایش است. آزمون خاک و بافت‌های گیاهی باید می‌کنند که این عناصر در مناطق گسترده‌ای عامل محدودکننده‌ی تولید محصولات بوده و توجه به آن‌ها در آینده احتمالاً افزایش خواهد یافت.

کمبود عناصر کم‌مصرف نه تنها به‌خاطر میزان اندک آن‌ها در خاک، بلکه به‌دلیل عدم قابلیت استفاده آن‌ها برای نبات نیز می‌باشد. آن‌ها به‌وسیله‌ی ترکیبات معدنی مانند اکسیدهای آهن و آلومینیوم جذب شده و همتافت‌هایی با مواد آلی ایجاد می‌کنند، که بعضی از آن‌ها به‌ندرت قابل جذب نبات می‌باشند. سایر همتافت‌های آلی که کیلات نامیده می‌شوند از جذب بعضی از عناصر کم‌مصرف به‌وسیله‌ی مواد معدنی جلوگیری کرده و آن‌ها را برای گیاهان قابل استفاده می‌سازند.

کمبود عناصر کم‌مصرف سبب رکود رشد نبات و حیوان می‌شود. برداشت این عناصر از آب و خاک، و یا غیرقابل استفاده ساختن آن‌ها برای گیاهان، یکی از چالش‌های عمده در برابر متخصصین خاک و نبات می‌باشد. در اکثر موارد، عملیات مدیریت خاک با اجتناب از بروز حدود نهایی pH با برگشت دادن پس‌مانده‌های گیاهی و دادن کود دامی به مقدار بهینه در خاک، با ارتقای تولید کیلات‌ها به‌وسیله‌ی تجزیه

فعال ماده‌ی آلی، خطر کمبود و یا سمیت عناصر کم‌مصرف را به حداقل می‌رساند. اما نکات مورد توجه هرچه بیشتر موقعیت‌هایی هستند که مسایل عناصر کم‌مصرف می‌تواند عملاً با مصرف کودهای حاوی آن عناصر مرتفع گردد. عناصر کم‌مصرف در حال تبدیل شدن به بخشی از اجزاء معمول کودهای شیمیایی برای مصرف در مزرعه و باغچه‌های خانگی بوده، و احتمالاً در آینده حتی بیشتر از این دو مورد شرکت خواهند داشت.

سوالات برای مطالعه

- ۱- در طول یک سال، حدود ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن و فقط ۳۰ گرم مولیبدن به وسیله‌ی درختانی که در یک هکتار زمین کشت شده‌اند برداشت شده است. آیا شما می‌توانید استتاج کنید که نیتروژن برای رشد بیشتر ضروری بوده است؟ توضیح دهید.
- ۲- در حالی که مقادیر اندکی از عناصر کم‌مصرف برای رشد عادی نبات لازم می‌باشد، آیا عاقلانه است که مقادیر زیادی از این عناصر را برای تأمین نیازهای آبی نبات هم اکنون مصرف کرد؟ توضیح دهید.
- ۳- کمبود آهن برای درختان هلو و سایر درختان میوه، که بر روی خاک‌های بسیار قلیایی آبیاری شده‌اند در مناطق خشک معمول است، هر چند مقدار آهن این خاک‌ها کاملاً بالاست. این وضعیت مربوط به چیست و برای تخفیف این مسأله چه کار می‌کنند؟
- ۴- اکسیدهای آهن و آلومینیوم چگونه در قابلیت استفاده Mo و B در خاک‌ها مؤثرند؟ شرح دهید.
- ۵- سویای کشت شده بر روی خاک‌هایی که تازه آهک خورده‌اند، شواهد کمبود یک عنصر را نشان می‌دهد که عده‌ای فکر می‌کنند مولیبدن باشد. شما با این تشخیص موافق هستید؟ اگر نه، توضیح دهید.
- ۶- کیلات‌ها چه می‌باشند، چگونه عمل می‌کنند و منابع آن‌ها چیست؟
- ۷- با اضافه کردن فقط یک کیلوگرم عنصر کم‌مصرف در هکتار به یک خاک اسیدی که در آن گل کلم آهک‌دوست کشت شده است رشد نبات پاسخ قابل ملاحظه‌ای می‌دهد، این عنصر کم‌مصرف احتمالاً کدام یک بوده است؟ توضیح دهید.
- ۸- دو خاک اریدی سول هر دو با pH ۸ از همان مواد مادری تکامل یافته‌اند. یکی دارای زه‌کش فقیر و دیگری دارای زه‌کشی خوب است نباتات کاشت شده در خاک با زه‌کشی خوب علایم کمبود آهن را نشان داده درحالی‌که بر روی زه‌کشی فقیر علایم کمبود را نشان نمی‌دهند. توضیح احتمالی برای این مسأله چیست؟
- ۹- حیوانات خانگی و وحشی، هر دو تحت تأثیر کمبود و سمیت دو عنصر کم‌مصرف می‌باشند، این دو عنصر کدامند و شرایط دخیل در تأثیر آن‌ها چه می‌باشد؟
- ۱۰- نقشی را که اصلاح‌کننده‌های نبات و متخصصین توارث می‌توانند در مدیریت کمبود عناصر کم‌مصرف و سمیت‌ها ایفا کنند، مورد بحث قرار دهید.
- ۱۱- از آن‌جاکه بُر برای تولید چغندر لبویی با کیفیت خوب لازم است، بعضی از شرکت‌ها فقط چغندرهایی را که با مقدار به‌خصوصی از این عنصر کود داده شده است، خریداری می‌کنند. متأسفانه زراعت یولاف به‌دنبال چغندر کودخورده درمقایسه با زراعت یولاف به‌دنبال چغندر کود بُر نخورده خیلی ضعیف است. توضیحات ممکن را برای این موقعیت ارائه دهید.

با استفاده از دانش علمی و خرد بوم‌شناخت می‌توانیم
زمین را اداره کنیم.
رنه-ج-دیوس در انسانی‌کردن زمین

فصل ۱۶

مدیریت عملی عناصر غذایی

مدیران خاک به‌عنوان مباشرین زمین باید چرخه‌ی عناصر غذایی را در تعادل نگهدارند. با انجام این امر آن‌ها ظرفیت خاک‌ها را برای تأمین نیازهای غذایی گیاهان و به‌طور غیرمستقیم خود ما تأمین می‌کنند. درحالی‌که بوم‌سامان‌های دست‌نخورده معمولاً نیازمند دخالت مدیر خاک و یا فرد دیگری نمی‌باشند (تعداد کمی از بوم‌سامان‌ها چنین دست‌نخورده باقی مانده‌اند)، فعالیت انسانی حاصل بوم‌سامان‌ها را در جهت منافع خود هدایت کرده است، جنگل‌ها، مزارع، گذرگاه‌های زیبا، و باغ‌های گل بوم‌سامان‌هایی هستند که برای تأمین کاغذ، غذا، فرصت‌های تفریحی و ارضای حس زیبایی‌شناسی تغییر یافته‌اند. بوم‌سامان‌های تغییر یافته، با توجه به سرشت خود نیازمند مدیریت می‌باشند. در بوم‌سامان‌های تغییر یافته چرخه‌ی عناصر غذایی، به‌دلیل برداشت زیاد (برداشت چوب یا محصول زراعی)، و یا افزایش نشست و هدررفت از بوم‌سامان (آبشویی و رواناب)، از طریق ساده‌سازی (تک‌کشتی، چه درخت کاج چه محصول نیشکر) و از طریق افزایش تقاضا برای رشد هرچه سریع‌تر نبات (چه خاک به‌طور طبیعی حاصلخیز باشد و چه نباشد) نامتعادل گردیده است. بنابراین، مدیر اراضی به‌ناچار مدیر عناصر غذایی نیز باید باشد.

در این فصل، اهداف مدیریت عناصر غذایی را مورد بحث قرار داده و ابزارهایی را که در دستیابی به این اهداف به ما کمک می‌کنند تشریح می‌کنیم این ابزارها شامل روش‌های ارتقای چرخه‌ی عناصر غذایی و همین‌طور منابع اضافی عناصر غذایی است که می‌توانند در خاک‌ها و گیاهان مورد استفاده قرار گیرند. در این فصل یاد خواهیم گرفت که چگونه بی‌نظمی عناصر غذایی را در گیاهان تشخیص داده و مسایل حاصلخیزی خاک را اصلاح کنیم. این فصل، با ایجاد بنایی بر پایه‌های اصول تعریف شده در بخش‌های پیشین این کتاب، شامل اطلاعات عملی زیادی بوده که برای حفظ منابع آلی و معدنی عناصر غذایی در تولید محصولات گیاهی فراوان با کیفیت بالا، ضمن حفظ کیفیت خاک و بقای زیست‌محیط، سودمند می‌باشد.

۱۶-۱ اهداف مدیریت عناصر غذایی

مدیریت عناصر غذایی یکی از جنبه‌های کل نگرش^۱ مدیریت خاک‌ها در زیست محیط بزرگ‌تر می‌باشد. اهداف مدیریت عناصر غذایی در نوع عملیات خاص به‌کار گرفته مؤثر می‌باشند. به‌طور کلی مدیریت عناصر غذایی به امید دستیابی به چهار هدف گسترده وابسته به همدیگر صورت می‌گیرد: (۱) تولید باصرفه‌ی گیاهان با کیفیت بالا (۲) استفاده مؤثر از منابع عناصر غذایی و حفظ آن‌ها (۳) نگهداری و یا ارتقای کیفیت خاک (۴) حفاظت محیط خارج از محدوده‌ی خاک می‌باشد.

تولید نباتات

مردم در سه نوع تولید محصولات گیاهی شرکت دارند که عبارت از کشاورزی، جنگل و ایجاد چشم‌اندازهای زینتی می‌باشند. کشاورزان از خانواده‌های بومی زارعین و باغداران کم‌درآمد، که تولید آن‌ها صرفاً به مصرف خودشان می‌رسد تا زارعین پردرآمد که هدف اصلی آن‌ها کسب منفعت از محصولات و دام‌های تولید شده است متغیر می‌باشند. صرف‌نظر از مقیاس و شیوه‌ی تولید، هدف اصلی از مدیریت عناصر غذایی، افزایش عملکرد است تا بتواند به زارعین معیشتی در تأمین غذایی خانواده خود و به زارعین تجارتي در کسب منفعت یاری رساند. چهارچوب زمانی، که متأسفانه هر دو گروه زارعین برای قضاوت در شکست و یا پیروزی برنامه‌های مدیریتی خود مورد استفاده قرار می‌دهند معمولاً سه تا شش ماه می‌باشد که همان دوره‌ی رشد گیاهان تولید شده به‌وسیله‌ی آن‌هاست و این مدت درمقایسه با ارزیابی کامل مؤثر بودن عملیات انتخاب شده به‌وسیله‌ی آن‌ها که نیازمند به چندین نسل انسانی می‌باشد، کوتاه است.

^۱ -Holistic approach

در جنگل، محصول اصلی نبات در قالب حجم چوب و یا کاغذ تولیدی اندازه گیری می شود در این موارد مدیریت عناصر غذایی با هدف ارتقای میزان رشد می باشد، به طوری که زمان مابین سرمایه گذاری و برگشت سرمایه بتواند به حداقل برسد. میزان زنده ماندن نهالچه ها نیز مهم می باشد. زیستگاه های وحش و ارزش های تفریحی ممکن است تولیدات اولیه و یا ثانویه به حساب آیند. به نظر می رسد که چهارچوب زمانی در جنگل که در طول چندین دهه و یا حتی قرن اندازه گیری می شود، میزان اقدامات در مدیریت عناصر غذایی را که می تواند به طور سودمند انجام گیرد، دچار محدودیت می کند.

وقتی خاکها به منظور ایجاد چشم اندازهای زیتی مورد استفاده قرار می گیرند. هدف اصلی تولید گیاهان با کیفیت بالا با حفظ زیباشناسی می باشد. تولید نبات چه برای فروش باشد و یا نباشد، توجه اندکی به عملکرد زیاده میڈول می گردد در واقع ممکن است عملکرد بالا نامطلوب باشد. مثلاً در مورد چمن که در آن عملکرد بالا نیازمند چمن زنی مکرر است، سرسختی، مقاومت به آفات، رنگ و فراوانی شکوفه های بسیار مهم تر از میزان عملکرد می باشند. هزینه های کارگری و سهولت مصرف، بیشتر از هزینه ی کود، مورد نظر است بنابراین، کودهای گران قیمت دیرآزادکننده به طور گسترده مورد استفاده می باشند.

حفظ منابع کودی

دو اصل کلیدی در اهداف حفظ منابع کودی عبارتند از (۱) نوسازی^۱ و یا استفاده ی مجدد^۲ از منابع و (۲) تأمین به اندازه و به هنگام کود است که بیانگر تعادل بین نهاده ها و ستانده های هر بوم سامان می باشد.

اولین اصل ترمودینامیک مطرح می کند که تمام منابع ماده نهایتاً قابل نوسازی می باشند، زیرا عناصر در اثر استفاده از بین نمی روند بلکه تنها در ترکیب مجدد قرار گرفته و در مکان حرکت خواهند کرد. هرچند از نظر عملی، وقتی یک عنصر غذایی از یک قطعه زمین جدا شده و در محیط گسترده تر ناپدید شود. اگر ناممکن نباشد، مشکل است آن را مجدداً به صورت یک عنصر غذایی مورد استفاده قرار داد. برای نمونه، فسفر ترسیب یافته در کف یک دریاچه با رسوبات فرسایش یافته و نیتروژن مدفون شده در یک چاله زباله برای استفاده مجدد قابل دستیابی نمی باشند. برعکس، مصرف زباله ی شهری کمپوست شده در اراضی زراعی و آبیاری با فاضلاب نمونه هایی از عملیاتی می باشند که عناصر غذایی را همچون منابع قابل استفاده مورد ملاحظه قرار می دهند.

بازچرخ نوعی نوسازی است که در آن عناصر غذایی به همان اراضی که قبلاً از آن ها جدا شده اند باز می گردند. باقی گذاشتن پس مانده های گیاهی در مزرعه، و توزیع کود طویله ای به زمینی که از آن دانه های علوفه ای احشام برداشت شده است نمونه هایی از بازچرخ عناصر می باشند. وازه گان منابع تجدیدشونده درمورد نیتروژن خالص به بهترین وجه قابل اطلاق است زیرا می تواند از نیوار به وسیله ی تثبیت زیستی دوباره جبران شود. در ساخت کودهای نیتروژن دار نیز نیتروژن نیوار تثبیت می شود (بخش های ۱۰-۱۳ تا ۱۲-۱۳ را مشاهده کنید) اما به بهای گزاف مصرف انرژی سوخت های فسیلی غیر تجدیدشونده می انجامد.

سایر عناصر غذایی کودی مانند پتاسیم و فسفر با حفاری و استخراج از ته نشست های معدنی غیر تجدید شونده، و یا از کانی های ترسیب شده دریاها و اقیانوس ها به دست می آیند. میزان ذخایر جهانی شناخته شده برحسب نوع عنصر غذایی متفاوت است، اما برای اکثر عناصر ذخایر برآورد شده چنان زیاد است که حداقل برای چندین قرن کافی می باشد. هرچند اگر زارعین کشورهای جهان سوم، مصرف کودهای فسفره خود را به میزان مصرف کنونی در اروپا و آمریکا بالا ببرند. منابع این عنصر حیاتی ممکن است در مدت کمتر از یک قرن تخلیه گردد. به علاوه با ازین رفتن غنی ترین و قابل دسترس ترین منابع این عناصر غذایی، قیمت تولید کود در قالب پول، انرژی و تخریب محیط بالا خواهد رفت. افزون برآن نیاز به این کودها در طول سال های آتی نه تنها کاهش نمی یابد، بلکه افزایش نیز خواهد داشت. طبق سرشت خاص خود، یک عنصر غذایی اساسی نمی تواند به وسیله ی عنصر دیگری جایگزین گردد، بنابراین، عاقلانه این است که از منابع کودی به عنوان بخشی از یک برنامه طولانی مدت مدیریت عناصر غذایی حفاظت کنیم.

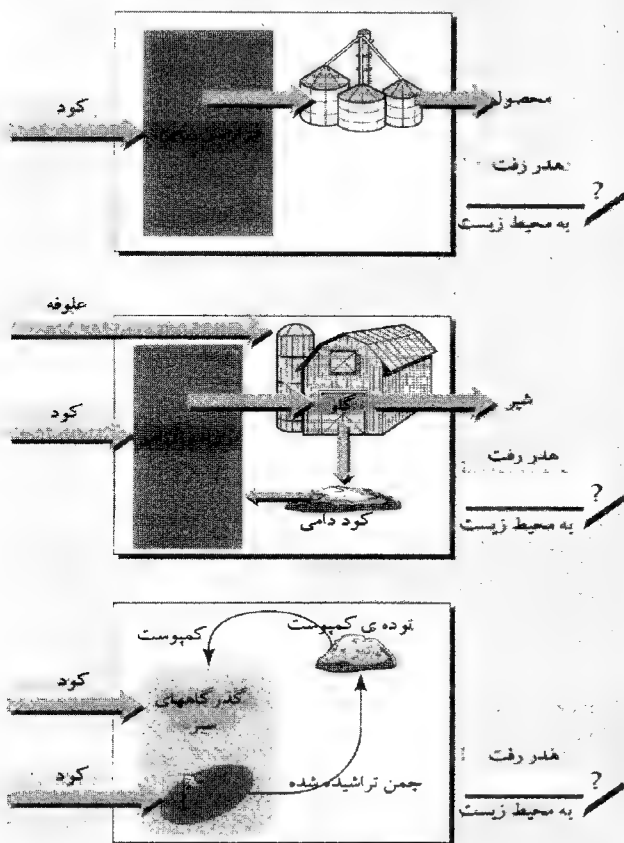
یک اقدام مفید در برنامه ریزی مدیریت عناصر غذایی، تفهیم و درک جریان عناصر غذایی در نظام خاص مورد ملاحظه است. چگونگی جریان باید تمام نهاده ها و ستانده های عناصر غذایی را دربرداشته باشد. مثال های از این دست در شکل ۱-۱۶ آمده است.

^۱-Renewal

^۲-Reuse

نبود تعادل در عناصر غذایی

در بسیاری از موارد، که نبود تعادل، کمبود و یا زیادی عنصر غذایی مورد بررسی قرار می‌گیرد. این بررسی نیازمند تجزیه و تحلیل جریان عناصر غذایی نه تنها در یک مزرعه و یا مؤسسه کشاورزی، بلکه در یک حوزه آبخیز، یک منطقه و یا حتی در مقیاس ملی است. برای مثال مطالعات نشان داده‌اند که بسیاری از کشورها در آفریقا به‌رغم وارد نمودن عناصر غذایی به‌صورت کودهای شیمیایی، خود به‌طور خالص صادرکننده‌گان عناصر غذایی هستند، و این بدان معنی است که صدور محصولات کشاورزی و جنگلی عناصر غذایی بیشتری را به خود درمقایسه با واردات کودهای شیمیایی و خوراک دام و انسان از این کشورها خارج می‌سازد. در طول ۳۰ سال گذشته به‌طور متوسط سالانه ۲۲ کیلوگرم نیتروژن، ۲/۵ کیلوگرم فسفات و ۱۵ کیلوگرم پتاس از هر هکتار در مساحت حدود ۲۰۰ میلیون هکتار اراضی زراعی زیر صحرای آفریقا (به‌استثنای آفریقای جنوبی) از بین رفته است. به‌نظر می‌رسد این تعادل منفی خالص در خاک‌های آفریقا که عامل تأثیرگذاری در فقر غذایی، کاهش توان تولید و رکود و کساد اقتصاد ملی در این قاره باشد (بخش ۱۰-۲۰ را مشاهده کنید).

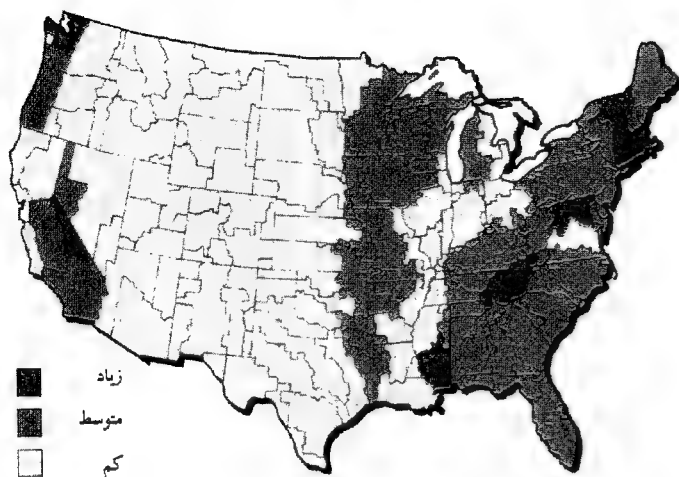


شکل ۱-۱۶ تصویر جریان عناصر غذایی به‌طور نمونه در یک مزرعه با محصول غله‌ی سودآور، یک مزرعه دامپروری و یک زمین بازی گلف. فقط نهاده‌ها و ستانده‌های موردنظر نشان داده شده‌اند. سایر نهاده‌های غیرقابل مدیریت (مانند عناصر غذایی ریزش‌یافته با باران) نشان داده نشده است و ستانده‌ها که مدیریت آن‌ها مشکل است مانند هدررفت حاصل از آبشویی داخلی و رواناب به محیط زیست نشان داده شده که متغیر می‌باشند. هرچند اطلاعات مربوط به نهاده‌ها و ستانده‌های غیرقابل مدیریت همیشه به آسانی قابل دسترسی نمی‌باشند، باید در ارائه یک طرح کامل مدیریت عناصر غذایی مد نظر قرار گیرند. چگونگی جریان همانند آنچه نشان داده شده است نقطه شروعی برای تشخیص عدم تعادل بین نهاده‌ها و ستانده‌ها است که منجر به اتلاف منابع، کاهش سود و خسارات زیست‌محیطی می‌شود.

برعکس در مناطق معتدل اراضی زراعی به‌طور متوسط عناصر غذایی بیشتر از آنچه که به‌وسیله‌ی برداشت محصول، رواناب و فرسایش از زمین خارج می‌شود دریافت می‌دارند. در طول همان ۳۰ سال گذشته در خاک‌های تحت کشت مناطق معتدل با مساحتی حدود ۳۰۰ میلیون هکتار دارای یک تعادل مثبت خالص عناصر غذایی حداقل به مقدار ۶۰ کیلوگرم نیتروژن، ۲۰ کیلوگرم فسفر و ۳۰ کیلوگرم پتاس در هر هکتار بوده‌اند. درحالی‌که کمبود عناصر غذایی در بعضی از مزارع به‌چشم می‌خورد، در بسیاری از خاک‌ها در این مناطق تراکم عناصر غذایی صورت گرفته است. بعضی از این عناصر اضافی به داخل رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و یا نیوار حرکت کرده و در آن‌جا سبب بروز زیان‌های زیست‌محیطی گردیده‌اند.

تغییرات در ساختار تولید کشاورزی در برخی از کشورها سبب ایجاد عدم تعادل عناصر غذایی و همراه با آن آلودگی شدید آب در بسیاری از مناطق گردیده است. تمرکز تولیدات دامپروری در دامداری‌ها و سایر محدوده‌های تولید دام گوشتی با استفاده از علوفه‌ی وارداتی از سایر مناطق یکی از این موارد می‌باشد. کود دامی حاصل در این محل‌های تولید دام دارای عناصر غذایی بسیار بیشتر از آن

است که بتواند به طور کارا و بی‌ضرر از نظر زیست‌محیطی در مزارع کشاورزی نزدیک مورد استفاده قرار گیرد. شکل ۲-۱۶ چنین مناطقی را در ایالات متحده‌ی آمریکا نشان می‌دهد. تمرکز صنعت پرورش طیور در ایالت دلاور^۱ نمونه‌ای را که در آن‌جا هم عدم تعادل عناصر غذایی گزارش شده است، ارائه می‌دهد (جدول ۱-۱۶).



شکل ۲-۱۶ نقشه ایالات متحده‌ی آمریکا نشان‌دهنده‌ی مناطقی که در آن‌ها نسبت کود دامی تولیدشده به اراضی زراعی موجود برای مصرف کود بین زیاد تا کم است. در بعضی از مناطق با نسبت بالا، میزان ۴ مگاگرم کود دامی خشک (حدود ۱۰ تا ۲۰ مگاگرم کود تازه) برای مصرف در هر هکتار اراضی کشاورزی و یا اراضی مرتعی اصلاح شده تولید می‌شود. نسبت بالا و متوسط به این معنی است که در بسیاری از مزارع کود دامی بسی بیشتر از مقداری است که از نظر اقتصادی قابل‌حمل به مزارع مجاور باشد. حتی در مناطق با نسبت کم، ممکن است کود دامی به مقدار کافی در اراضی زراعی موجود مصرف نگردد.

جدول ۱-۱۶ تعادل فسفر و نیتروژن در کشاورزی متکی به مرغ‌داری در استان دلاور همان‌طور که در جدول مشخص شده است هر سال بیشتر از ۱۰۰۰۰ تن نیتروژن در مزارع دلاور بیشتر از آنچه مورد نیاز محصولات کشت شده است مصرف می‌گردد. و این حدوداً معادل ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار است، بیشتر نیتروژن اضافی در رواناب سطحی و آب زیرزمینی از این مزارع خارج می‌شود. فسفر حتی به نسبت بیشتر از تعادل خارج شده است که نتیجه آن تراکم این عنصر در خاک‌های سطحی و هدررفت بیشتر در رواناب می‌باشد.

نیازها	نیاز نیتروژن و یا منبع نیتروژن	مساحت اراضی هکتار	میزان فسفر مگاگرم در سال	میزان نیتروژن مگاگرم در سال
ذرت	۶۹۶۰۰	۹۴۰	۹۸۰۰	
سویا	۸۰۶۰۰	۱۰۸۵	۰	
گندم	۲۴۳۰۰	۳۳۰	۲۲۰۰	
جو	۱۱۰۰۰	۱۵۰	۱۰۰۰	
سایر محصولات	۳۲۴۰۰	۴۳۵	۳۶۰۰	
کل نیاز	۲۱۷۹۰۰	۲۹۴۰	۱۶۶۰۰	
منابع کودی				
کود مرغی	—	۳۴۹۵	۷۸۶۵	
خرید کود شیمیایی		۲۹۵۵	۱۹۲۷۵	
سایر مواد زاید		نامعلوم	نامعلوم	
کل منابع		۶۴۵۰	۲۷۱۴۰	
تعادل (نیتروژن و فسفر اضافی)		۳۵۱۰+	۱۰۵۴۰+	

^۱ - Delaware

کیفیت خاک و توان تولید

مفهوم استفاده از عناصر غذایی برای ارتقای کیفیت خاک از تأمین ساده عناصر غذایی لازم برای رشد گیاه در سال کشت محصول بسیار فراتر می‌رود. این مفهوم تأمین عناصر غذایی در طولانی مدت، ظرفیت خاک در چرخه عناصر، بهبود خصوصیات فیزیکی و یا شخم آبی^۱، حفظ وظایف و تنوع زیستی در سطح و لایه‌های زیرین خاک و اجتناب از سمیت عناصر شیمیایی را نیز شامل می‌گردد. به همین ترتیب ابزارهای به کار رفته در مدیریت، بسیار فراتر از مصرف کودهای شیمیایی مختلف است (گرچه جزء بسیار مهمی از مدیریت عناصر غذایی است). مدیریت عناصر غذایی نیازمند مدیریت جامع فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی می‌باشد. اثر عملیات خاک‌ورزی بر تراکم ماده‌ی آلی (فصل ۱۲)، افزایش قابلیت استفاده عناصر غذایی بر اثر فعالیت کرم‌های خاکی (فصل ۱۱)، نقش قارچ‌ریشه‌ها در جذب فسفر به وسیله گیاهان (فصل ۱۴)، اثرات آتش‌سوزی بر روی عناصر غذایی، و تأمین آب، (فصل ۷) همگی نمونه‌هایی از اجزای مدیریت جامع عناصر غذایی می‌باشند.

۲-۱۶ کیفیت محیط زیست

تأثیر مدیریت عناصر غذایی بر محیط زیست مستقیماً در قلمرو کیفیت آب قابل تعیین است، این قلمرو در این فصل مورد تأکید قرار می‌گیرد. آلاینده‌های عمده آب که باید مورد توجه قرار گیرند عبارتند از نیترژن، فسفر و رسوبات‌ها. بنابراین، ممکن است به بازمی‌بسیاری از مسیرها که نیترژن و فسفر از طریق آن‌ها از خاک خارج می‌شوند و در فصول ۱۳ و ۱۴ تشریح گردیده است نیازمند باشیم. برای اجتناب از خسارت نیترژن و فسفر اضافی به آب‌های سطحی روش اصلی عبارت از متعادل کردن میزان تأمین این عناصر با مصرف آن‌ها به وسیله گیاهان می‌باشد. به علاوه می‌توان راهبردهای را برای کاهش انتقال عناصر غذایی (و سایر آلاینده‌ها) به آب‌های سطحی و زیرزمینی انتخاب کرد. در آمریکا عملیاتی که به طور رسمی برای اعمال راهبردها تصویب شده است تحت عنوان بهترین عملیات مدیریتی^۲ و یا BMP نامیده می‌شوند. ۴ نوع از این عملیات عمومی که در زیر به اختصار مورد ملاحظه قرار خواهند گرفت شامل: نوارهای حمایتی^۳، گیاهان پوششی^۴، قطع انتخابی درختان^۵ و عملیات خاک‌ورزی حفاظتی^۶ می‌باشند.

نوارهای پشتیبان

نوارهای حاصل از پوشش گیاهی متراکم در حاشیه رودخانه‌ها و یا سایر منابع آب (منطقه‌ی کناره‌ی آب راپاریان) یک روش ساده و معمولاً باصرفه در جلوگیری از اثرات آلاینده‌ی در انواع کاربری‌های اراضی عرضه‌کننده‌ی عناصر غذایی می‌باشند. اراضی کود شیمیایی خورده، فعالیت‌های پرورش طیور و دام، اراضی با مصرف فضولات آلی، عملیات برداشت جنگل و فعالیت‌های توسعه‌ی شهری نمونه‌هایی از کاربری اراضی می‌باشند که دارای توان تجمع بار رسوبات و عناصر غذایی می‌باشند. پوشش گیاهی در نوارهای حمایتی ممکن است شامل پوشش طبیعی و یا پوشش کاشته شده بوده، و ممکن است چمن و درخت را نیز دربرداشته باشد (شکل ۳-۱۶).

رواناب جاری از سطح اراضی غنی از عناصر غذایی قبل از این‌که به داخل رودخانه برسد از داخل نوارهای حمایتی عبور می‌کند. درختان و لاشبرگی که ایجاد می‌کنند همراه با گیاهان چمنی و کلش آن‌ها سبب کاهش سرعت آب و پریچ‌وخم‌شدن مسیر جریان می‌شوند. در این شرایط بیشتر رسوب و عناصر غذایی همراه آن در داخل آب با جریان کُند ته‌نشین شوند. عناصر غذایی حل‌شده نیز یا به وسیله‌ی خاک‌پوش آلی و یا خاک معدنی نگاه‌داری شده و یا به وسیله‌ی گیاهان نوار حمایتی در داخل نبات جذب می‌گردند. کاهش سرعت جریان زمان نگهداری و یا مدت زمانی که در طول آن فعالیت میکروبی می‌تواند آفت‌کش‌ها را قبل از رسیدن به رودخانه تجزیه کند افزایش می‌دهد. تحت بعضی شرایط نوارهای حمایتی در طول رودخانه می‌توانند میزان نیترات را در آب زیرزمینی که در زیر آن‌ها جریان دارند کاهش دهند (هر چند انتشار اکسید نیتره به نیوار نیز ممکن است به دنبال احیای نیترات صورت گیرد) (شکل ۱۱-۱۳).

1- Tilt

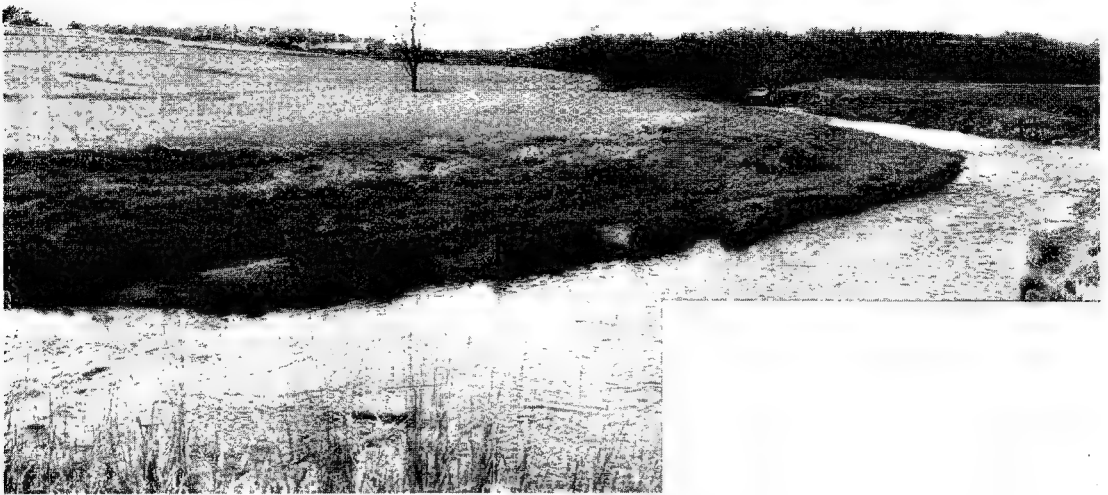
2- Best Management Practices

3- Riparian buffer strips

4- Cover crops

5- Selective timber cutting

6- Conservation Tillage



شکل ۳-۱۶ منطقه با پوشش چمنی در طول کناره‌های یک رودخانه نمونه‌ای از نوارهای محافظ است که در حوزه‌های آب‌خیز کشاورزی ایجاد می‌شوند. بخش بزرگی از عناصر غذایی و سایر آلاینده‌ها که به‌وسیله رواناب سطحی از مزارع حمل می‌شوند قبل از ورود آن‌ها به رودخانه در این نوارها به‌دام می‌افتند. در اراضی جنگلی در قسمت عقب عکس یک نوار مشابه در طول رودخانه باقی می‌ماند تا به‌صورت نوارهای محافظ هنگام برداشت جنگل عمل کند.

نوارهای پشتیبان به شرط آن‌که دارای پوشش گیاهی متراکم بوده و یا به‌وسیله‌ی احشام و مردم لگدکوب نشده باشند، می‌توانند به‌طور اعجاب‌انگیزی عمل کنند. عرض لازم برای تمیز کردن بهینه ممکن است از ۶ تا ۶۰ متر تغییر کند، هرچند عرض ۱۰ متر معمولاً بسنده است (شکل ۴-۱۶). برای جبران اراضی زراعی کاهش‌یافته به‌وسیله‌ی نوارهای حفاظتی، مالک زمین می‌تواند آن‌ها را برای فضای دورزدن ماشین آلات و ادوات، تولید علوفه، بالابردن ارزش تفرجگاهی ساحل رودخانه و یا زیست‌گاه بهتر ماهی اختصاص دهد. بنابراین، نوارهای حمایتی می‌توانند اغلب سبب سود دوچندان گردند.

گیاهان پوششی

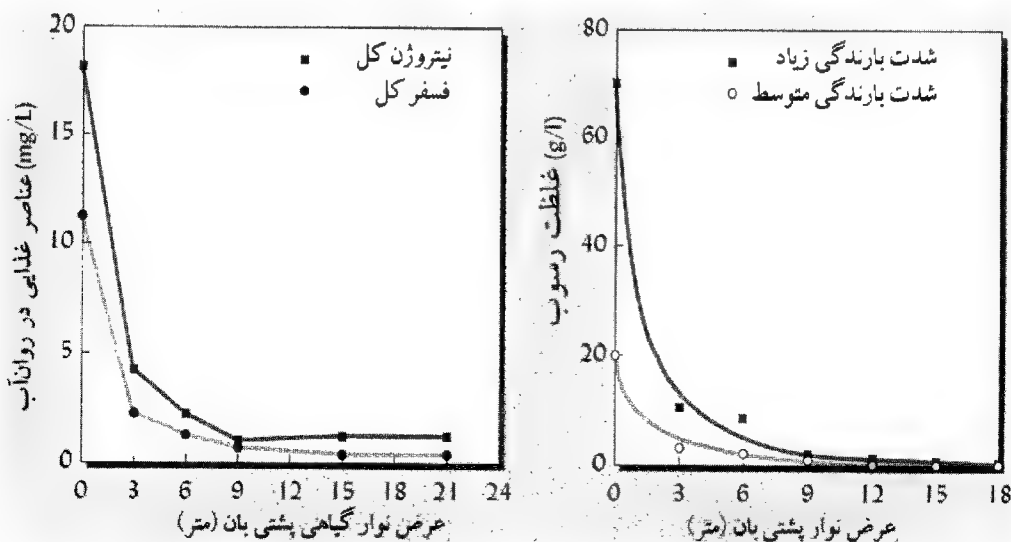
گیاه پوششی برداشت نمی‌شود، بعد از ایجاد پوشش بر روی خاک یا به‌وسیله‌ی علف‌کش کشته شده و به‌صورت خاک‌پوش در سطح خاک باقی می‌ماند، و یا با شخم به‌عنوان کود سبز در داخل خاک مخلوط می‌شوند. کشت یک گیاه پوششی دارای مزایای بیش از حد در مقایسه با باقی‌گذاشتن خاک به‌صورت لخت در فصل آیش می‌باشد. گیاهان پوششی اگر از خانواده نیامداران باشند، ممکن است نیتروژن قابل استفاده را در خاک افزایش دهند (بخش ۴-۱۶ را مشاهده کنید)؛ آن‌ها ممکن است زیستگاهی برای حیات وحش و حشرات مفید ایجاد کنند؛ آن‌ها خاک را از نیروهای فرسایشی باد و باران محافظت می‌کنند (بخش ۷-۱۷)؛ آن‌ها ماده‌ی آلی خاک را اضافه می‌کنند (بخش ۱۰-۱۲)؛ با توجه به تناسب بیشتر با عنوان این فصل، باید بیان داشت که گیاهان پوششی ممکن است سبب کاهش هدررفت عناصر غذایی و رسوب در رواناب سطحی و همچنین حفظ عناصر غذایی گردند که ممکن است به پایین‌تر از عمق ریشه حرکت کنند. یک گیاه پوششی به دو دلیل سبب کاهش هدررفت عناصر غذایی در رواناب می‌گردد. اول، پوشش گیاهی از تشکیل سله^۱ در سطح خاک جلوگیری کرده، و بنابراین، سبب حفظ ظرفیت نفوذ بالا می‌گردد (شکل ۷-۶ ب). در هر بارش ظرفیت نفوذپذیری بالا رواناب کمتری را برای جریان در سطح خاک باقی می‌گذارد. دوم، پوشش گیاهی سبب جدانمودن رسوب و عناصر در رواناب جاری طی همان سازوکاری می‌شود که در مورد نوارهای پشتیبان بیان گردید.

گیاهان پوششی سبب کاهش هدررفت حاصل از آبشویی می‌شوند: شاید مهم‌ترین استفاده از گیاهان پوششی در مدیریت عناصر غذایی کاهش هدررفت عناصر غذایی به‌خصوص آبشویی نیتروژن باشد. در بسیاری از مناطق معتدل مرطوب و نیمه‌مرطوب، بیشترین توان آبشویی نترات از اراضی زراعی در طول پاییز و زمستان بعد از برداشت و قبل از کشت زراعت اصلی در بهار صورت می‌گیرد. در طول فصل رشد اصلی، ریشه‌ی گیاهان هم سبب جذب آب و هم عناصر غذایی می‌گردند که باعث عدم حرکت و یا حرکت اندک آب به زیر منطقه ریشه و غلظت نسبتاً کم نترات در آب خاک می‌شوند. هرچند اگر خاک بعد از برداشت محصول اصلی بدون

^۱ - Crust

پوشش باشد، نیترات به آسانی به طبقات پایین آبشویی می‌شود. توان زیاد آبشویی تا رشد و توسعه‌ی نبات در سال بعد ادامه خواهد داشت (مگر این که خاک بیخ بزند).

در طول این ایام آسیب‌پذیر، حضور یک گیاه پوششی دارای رشد فعال فرونشست آب را کند کرده و بیشتر نیترات را از محلول خاک جدا کرده و آن را در داخل بافت نبات مصرف خواهد کرد که در سال بعد قسمت اعظم آن در داخل خاک تجزیه خواهد شد. برای تحقیق این امر، یک گیاه پوششی مطلوب باید شبکه‌ی هرچه متراکم‌تر ریشه را هرچه سریع‌تر بعد از توقف رشد زراعت اصلی تولید کند. ثابت شده است که نباتات خانواده‌ی گندمیان مانند غلات زمستانه‌ی یک‌ساله (چاودار، گندم، یولاف) و نیامداران (خلر و شبدر) در پاک‌کردن نیتروژن محلول باقی‌مانده بسیار کارآ می‌باشند (شکل ۵-۱۶). همچنین باید توجه کرد که گیاه پوششی مانند هر گیاه دیگر نیازمند تأمین عناصر غذایی متعادل است، و اگر تأمین دیگر عناصر غذایی به‌خوبی انجام نشده باشد، دارای توانایی کاهش مؤثر نیترات از خاک نخواهد بود (شکل ۶-۱۶). در این رابطه وجود P و K، به‌خصوص برای گیاهان پوششی در حال رشد در دمای کم بسیار مهم است.



شکل ۴-۱۶ جداسازی عناصر غذایی و رسوبات از رواناب به‌وسیله‌ی نوارهای پشتیبان گیاهی با عرض‌های مختلف، نیتروژن و فسفر در رواناب یک مزرعه که کود خوک دریافت کرده بود، اندازه‌گیری شد (چپ). در آزمایش دیگر، رسوبات از رواناب یک مزرعه که به‌صورت آیش باقی مانده و شدت‌های مختلف بارندگی دریافت کرده بود، اندازه‌گیری شد (راست). توجه کنید که بیشترین عناصر غذایی و رسوب در ۹ متر اول نوار پشتیبان گیاهی جدا گردید. بسته به نوع پوشش گیاهی و خصوصیات خاک، عرض بسته‌ی نوار پشتیبان ممکن است از ۶ تا ۶۰ متر متفاوت باشد.

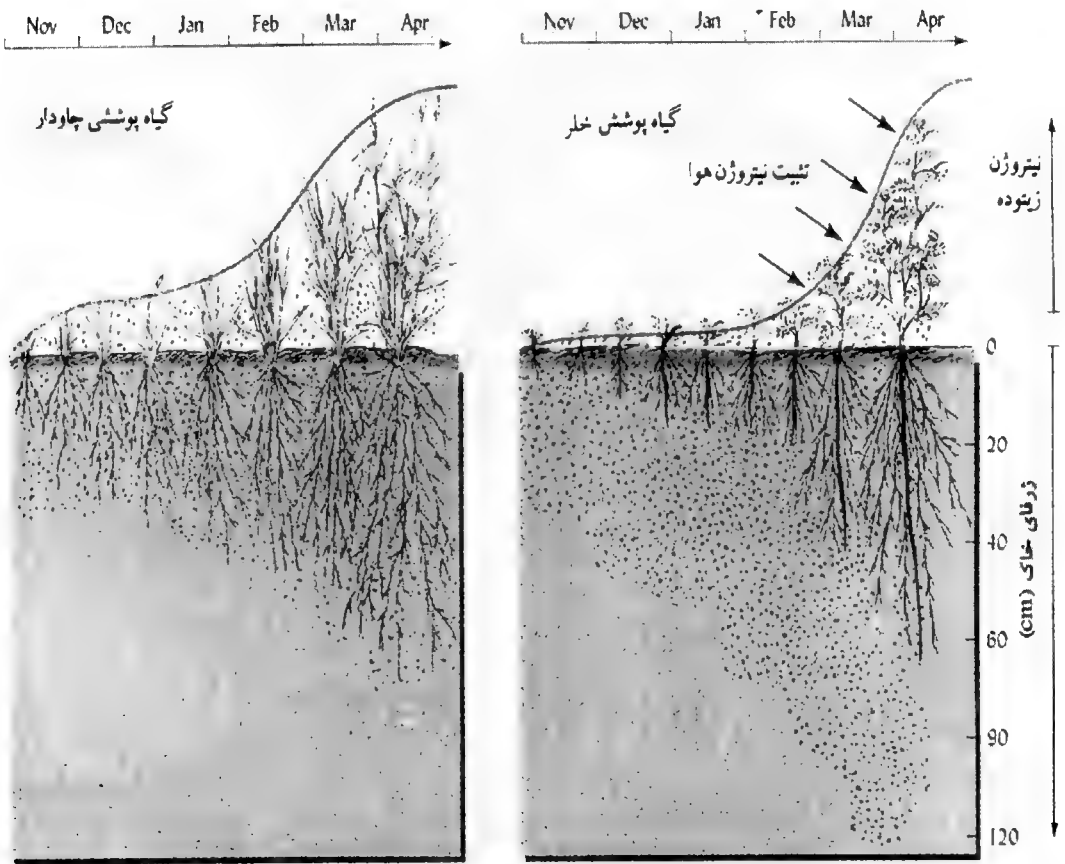
عملیات قطع انتخابی درختان

مشخصه‌ی اکثر جنگل‌ها به‌خصوص با درختان جوان سریع‌الرشد، کند آزادکردن عناصر غذایی (عمدتاً بر اثر معدنی‌شدن ماده‌ی آلی) می‌باشد که در ارتباط نزدیک با میزان جذب عناصر مربوط به این درختان است. متأسفانه اکثر روش‌های معمول و باصرفه‌ی برداشت گونه‌های جنگلی، یعنی کف‌تراشی که عبارتست از برداشت تمام درختان در قطعات بزرگ زمین، می‌باشد دارای پیامدهای جدی زیست‌محیطی است (شکل ۷-۱۶). در این روش نه تنها خاک در مقابل فرسایش بسیار آسیب‌پذیر خواهد شد، بلکه به چهار دلیل اساسی تعادل عناصر غذایی به‌هم خواهد خورد.

اول: برداشت تمام درختان، خاک را تا استقرار ریشه‌ی پوشش گیاهان طبیعی با تعداد معدودی ریشه‌ی فعال برای جذب عناصر غذایی حل‌شده در محلول خاک مواجه می‌سازد. دوم: تجزیه‌ی ماده‌ی آلی و آزادشدن عناصر غذایی معدنی بر اثر بالا رفتن دما به دلیل نبود سایه در کف جنگل، و به‌هم‌زدن فیزیکی افق‌های O و A با کشیدن الوار و کف‌تراشی جنگل به مقدار زیادی تسریع می‌یابد. سوم: بقایای جنگلی (شاخه و برگ‌ها) باقی‌مانده بعد از برداشت درختان یک منبع عظیم از عناصر غذایی را ارائه می‌کنند که باید یا به‌وسیله‌ی سوزاندن بقایا، یا تجزیه میکروبی آزاد گردند. چهارم: کاهش عمده در زیئوده‌ی میکروبی که به دنبال جنگل‌تراشی صورت می‌گیرد، سبب باقی‌ماندن جرم عظیمی از ریزجاندانان مرده دارای سهولت تجزیه می‌شود.

در نتیجه این عوامل نشان داده شده است، رودخانه‌هایی که حوزه‌های آبخیز جنگل‌تراشی شده را زه‌کشی می‌کنند بار بسیار بالایی را از نیترات و سایر عناصر غذایی مدتی تا پس از برداشت جنگل حمل می‌کنند. اثرات کف‌تراشی در قطعات بزرگ، وقتی خاک‌ها شنی بوده و توان ایجاد پوشش مجدد با مصرف علف‌کش‌ها برای کاهش رقابت علف‌ها با نهالچه‌های جنگلی تازه کشت‌شده به‌حداقل رسیده است بسیار بالا خواهد بود (شکل ۸-۱۶). حتی وقتی علف‌کش‌ها نیز مصرف نشوند تجدید پوشش معمولاً چنان سریع نیست که از آبهوشی نیترات در مدتی کوتاه پس از جنگل‌تراشی ممانعت کند.

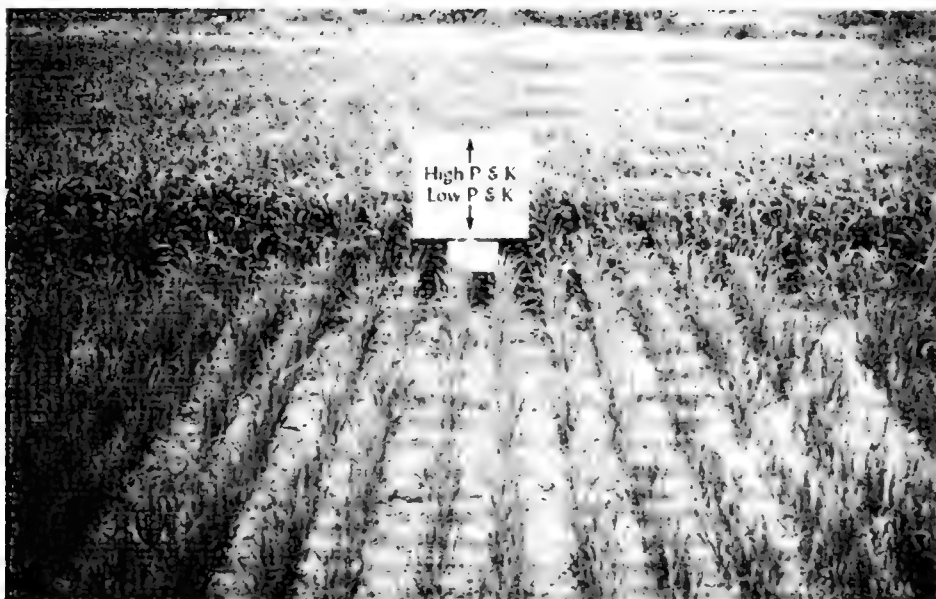
عملیات قطع انتخابی، بر عکس، درصد کمی از درختان موجود را در هر سال برداشت می‌کند. خاک‌ها برای انتشار ریشه گیاهان^۱ جمع‌کننده (رُفتگر) عناصر غذایی آماده بوده و کف جنگل با زیرورو شدن و رودخانه‌ها با آلودگی و خاک‌های جنگلی با تخلیه عناصر غذایی کمتر مواجه می‌شوند. یک چشم‌انداز کمتر تخریب یافته از مزایای دیگر قطع انتخابی جنگل می‌باشد.



شکل ۵-۱۶ نیتروژن مصرفی باقیمانده از گیاه صیفی قبل

شکل ۵-۱۶ مؤثر بودن نسبی نباتات غیرنیامدار (چاودار) درمقایسه با یک نبات نیامدار (خنلر) پوششی زمستانه در پاک کردن نیترات باقیمانده در خاک بعد از برداشت یک گیاه تابستانه با مصرف کود سنگین. چاودار خیلی سریع در طول هوای ملایم پاییزی درست بعد از برداشت محصول تابستانه، رشد کرده درحالی‌که گیاه نیامدار تا گرم شدن مجدد خاک در بهار بعد با تأنی رشد می‌کند. این ویژگی و این واقعیت که برخلاف نبات نیامدار، چاودار وابسته به نیتروژن خاک بوده و دارای شبکه‌ی ریشه‌ی افشان می‌باشد، توأمأ چاودار را به یک گیاه پوششی بسیار عالی برای کاهش آبهوشی زمستانه نیترات تبدیل می‌کند.

^۱- Nutrient Scavenging tree roots



شکل ۶-۱۶ همانند سایر نباتات، رشد قوی یک گیاه پوششی نیازمند عناصر غذایی به میزان کافی در خاک می‌باشد. گیاه پوششی یولاف با رشد ضعیف در خاک‌های دارای P و K اندک در قسمت جلو عکس نمی‌تواند در جلوگیری از آبشویی نیترات در این خاک بافت درشت التی‌سول یاری‌رسان باشد. خاک در قسمت عقب عکس با رشد قوی یولاف، طی سال قبل فسفر و پتاسیم به میزان ۳۶ و ۷۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب دریافت داشته است.

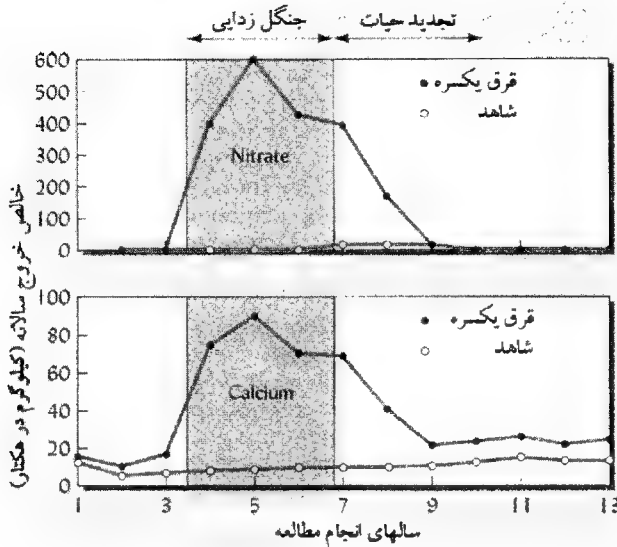


شکل ۷-۱۶ قطع کلیه درختان کاج لابلالی در خاک‌های دشت ساحلی. تعداد اندکی درخت بالغ به‌عنوان درختان بذری باقی مانده است. کف جنگل به‌وسیله‌ی سرشاخه‌ها در اندازه‌های مختلف پوشانده شده است، اما پوشش گیاهی زنده اندک است. قطعات بریده شده ممکن است موجب آلی‌کردن شدید نیتروژن طی تجزیه گردند.

عملیات خاک‌ورزی حفاظتی

واژه‌گان خاک‌ورزی حفاظتی به عملیات خاک‌ورزی در کشاورزی اطلاق می‌شود که حداقل ۳۰ درصد سطح خاک را با پوشش پس‌مانده‌های گیاهی به‌دنبال انجام عملیات باقی‌گذارد. اثر خاک‌ورزی حفاظتی بر خصوصیات خاک و جلوگیری از فرسایش در جای دیگری در این کتاب (بخش ۶-۱۷ را مشاهده کنید) مطرح خواهد شد. در این‌جا تأکید بر اثرات آن در هدررفت عناصر غذایی می‌باشد. مطالعات در بسیاری از مناطق کوهی زمین روشن ساخته‌اند که، درمقایسه با اراضی شخم خورده با پوشش اندک و یا بدون پوشش، عملیات خاک‌ورزی حفاظتی مقدار کل رواناب سطحی را کاهش داده و بار کل عناصر غذایی و رسوب حمل‌شده به‌وسیله‌ی همان رواناب

را حتی به مقدار بیشتری کاهش می‌دهد (جدول‌های ۲-۱۶ و ۱۴). در صورت ترکیب این عملیات با گیاهان پوششی اثر آنها بیشتر خواهد شد نگرانی برخی این است که کودهای شیمیایی و فضولات آلی مصرف شده در مزارع با عملیات شخم و شیار حفاظتی با خاک به‌خوبی مخلوط نمی‌شوند (و یا اصلاً مخلوط نمی‌شود) و بسیار احتمال دارد که به پایین شیب، شسته شوند. در اکثر موارد، اگر سطح خاک به‌وسیله‌ی عملیات خاک‌ورزی کمتر دست‌کاری شود، حتی اگر کود دامی و لجن فاضلاب بر روی آن پخش گردد، هدررفت عناصر غذایی به‌داخل رواناب کمتر خواهد بود.



شکل ۸-۱۶ اثر کف‌تراشی جنگل به‌دنبال سه سال مصرف علف‌کش بر خالص خارج شدن دو عنصر غذایی در یک حوزه‌ی آبخیز جنگلی دارای خاک‌های شنی در کوه‌های نیوهمشایر. در این شرایط امکان آبخش‌های حداکثر بود، زیرا درختان برداشته شده و از رشد گیاهان در اشکوب زیرین با استفاده از علف‌کش ممانعت شده بود. هدررفت عناصر غذایی در صورت استفاده از عملیات BMP و ایجاد امکان رشد بلافاصله پس از کف‌بری کمتر چشم‌گیر خواهد بود.

در کل، هدررفت عناصر غذایی بر اثر آبخش در خاک‌ورزی حفاظتی مقداری از خاک‌ورزی معمول بیشتر است. این امر تا حد زیادی قابل پیش‌بینی است، زیرا در خاک‌ورزی حفاظتی بخش اکثر بارندگی و یا آب آبیاری به‌داخل خاک نفوذ کرده و عناصر غذایی را آبخش می‌کند. در بعضی موارد آب سطحی از طریق منافذ درشت، که در نظام خاک‌ورزی حفاظتی به‌وفور وجود دارند، به‌سرعت به پایین خاک‌رخ جریان می‌یابد. در نتیجه، عناصر غذایی نگهداری شده در منافذ ریز به افق‌های پایین انتقال نمی‌یابند. در این شرایط هدررفت عناصر غذایی در عملیات خاک‌ورزی حفاظتی کمتر است.

جدول ۲-۱۶ اثر کاربری اراضی و عملیات خاک‌ورزی بر هدررفت عناصر غذایی در رواناب در یک خاک لوم رسی^۱ سیلتی هاپلودالف^۲ در ایالت اوهایو. جنگل مخلوطی از درختان بلوط و کاج بود، مزرعه یونجه برای تولید علوفه سه‌ساله بود و کرت‌های کشت شده بعد از ۱۰ سال در زیر علف‌زار گندمیان به کشت ذرت اختصاص یافت. خاک‌ورزی جوی پشته‌ای^۳ نوعی از عملیات خاک‌ورزی حفاظتی است که خاک را پوشیده از پس‌مانده‌های گیاهی در زمستان باقی گذاشته و فقط بخشی از خاک را در بهار به‌هم می‌زند.

نظام خاک‌ورزی			جنگل	هدررفت آب و عناصر غذایی
ذرت. کشت‌شده مرسوم	ذرت. جوی پشته‌ای	یونجه شخم‌نخورده		
۴۰	۳۳	۱۸	۵	رواناب (درصد بارش)
۳۱۵	۴۹	۱۳	۱۹	هدررفت عناصر غذایی
۲/۶۵	۱/۱۲	۰/۲۱	۰/۲۶	kg ha ⁻¹ yr ⁻¹ نیتروژن
				فسفر

^۱ Silty clay loam

^۲ Hapludalfs

^۳ Ridge till

در باقی‌مانده این فصل ما توجه خود را، بر ویژگی‌ها و استفاده از منابع مختلف عناصر غذایی، روش‌های طراحی‌شده برای تحقق اهداف مطرح‌شده‌ی قبلی مدیریت عناصر غذایی، و روش‌های ارزیابی وضعیت غذایی گیاه و خاک به‌منظور تعیین نوع عنصر غذایی و مقدار مورد نیاز آن معطوف خواهیم داشت.

۳-۱۶ منابع عناصر غذایی

مخزن عناصر قابل استفاده‌ی خاک از منابع داخلی و خارجی تأمین می‌گردد. منابع داخلی عناصر غذایی خاک از داخل بوم‌سامان، چه یک جنگل، یک حوزه آب‌خیز، یک مزرعه و یا خانه‌ای در حاشیه شهر فراهم می‌شود. این منابع به دلیل این‌که هزینه‌های مالی و زیست‌محیطی آن‌ها در کمینه‌ی مقدار است اغلب مورد ترجیح قرار می‌گیرند. این منابع شامل فرایند هواپدگی کانی‌ها در داخل خاک‌رخ، تثبیت زیستی نیتروژن، کسب عنصر غذایی از نزولات نیواری و اشکال مختلف چرخه‌ی داخلی مانند استعمال کود دامی و مدیریت پس‌مانده‌های گیاهی می‌باشند.

وقتی منابع داخلی ناپسند باشند که اغلب در مورد بعضی از عناصر در نظام با توان تولید بالا صادق است، عناصر باید از منابع خارج از سامانه وارد گردند. این منابع خارجی معمولاً عبارت از کودهای شیمیایی و آلی خریداری شده می‌باشند. بعضی از بقایای آلی و فضولات قابل استفاده در کشور آمریکا، همراه با درصد مصرف هر یک در مزارع در جدول ۳-۱۶ آمده است.

جدول ۳-۱۶ مقادیر فضولات آلی که هر سال در آمریکا تولید گردیده و درصد این مواد که در اراضی مصرف می‌شوند.

فضولات آلی	تولید سالانه، میلیون تن خشک	درصد مصرف‌شده در اراضی	فضولات آلی	تولید سالانه میلیون تن خشک	درصد مصرف‌شده در اراضی
پس‌مانده‌های گیاهی	۴۵۰	۷۵	قطع اشجار و کارخانه‌های چوب‌بری	۳۵	۱۰
کودهای دامی	۱۷۵	۹۰	مواد آلی صنعتی	۹	۵
ضایعات شهری	۱۴۵	۱۰	لجن فاضلاب	۶	۴۰
			صنایع غذایی	۳	۱۵

۴-۱۶ چرخه‌ی عناصر غذایی در خاک - گیاه و نیوار

هواپدگی مواد مادری: یک منبع داخلی

بسته به مواد مادری و اقلیم هواپدگی (بخش ۳-۲ را مشاهده کنید)، ممکن است مواد مادری مقادیر قابل‌توجهی عناصر غذایی را آزاد کند (جدول ۴-۱۶). در سامانه‌های تولید چوب، اکثر عناصر غذایی از مواد مادری و یا تجزیه‌ی ماده‌ی آلی برای تأمین عناصر غذایی کافی به سرعت آزاد می‌شوند. هرچند در سامانه‌های کشاورزی، باید مقداری عناصر غذایی معمولاً اضافه شوند، زیرا عناصر غذایی سالانه در محصولات برداشت‌شده از زمین خارج می‌گردند. مقادیر بسیار اندکی نیتروژن از هواپدگی مواد مادری معدنی آزاد می‌شوند، بنابراین، سایر سازوکارها، از جمله تثبیت زیستی نیتروژن، برای تأمین مجدد این عنصر بسیار مهم لازم است. آزادشدن عناصر بر اثر معدنی‌شدن مواد آلی خاک در چرخه‌ی کوتاه‌مدت عناصر غذایی بسیار مهم است. در طولانی مدت ماده‌ی آلی و عناصر غذایی آن باید مجدداً جبران گردد در غیر این صورت حاصلخیزی خاک افول خواهد کرد.

اقتصاد عناصر غذایی در درختان

جنگل‌ها، سازوکارهای متعددی را برای حفظ عناصر غذایی در مناطق با منابع فقیر ابداع نموده‌اند. برای مثال سوزنی‌برگان در مناطق سردسیر (نراد سیاه) برگ‌های سوزنی خود را به‌جای این‌که مرتباً خزان کنند، برای ده‌ها سال نگهداری می‌کنند و این آن‌ها را قادر می‌سازد، که در محل‌هایی که دارای مقادیر اندک نیتروژن قابل استفاده می‌باشند رشد کنند (سوزن‌ها از نظر نیتروژن بسیار غنی‌تر از بافت‌های چوبی می‌باشند). جنگل‌ها معمولاً زیتوده سطحی بیشتری (۲۰۰-۱۰۰ کیلوگرم در هر کیلوگرم نیتروژن جذب شده) درمقایسه با بوم‌سامان‌های دیگر (ذرت ۷۰-۶۰ کیلوگرم زیتوده در هر کیلوگرم نیتروژن جذب‌شده) تولید می‌کنند.

جدول ۴-۱۶ مقدار عناصر غذایی انتخاب شده که به وسیله ی هوادیدگی کانی ها در یک اقلیم معتدل مرطوب شاخص در مقایسه با مقدار برداشت شده به وسیله ی محصولات چوبی درختان و یا محصولات کشاورزی آزاد می شود. میزان آزادشدن عناصر از کانی ها و برداشت درختان در جنگل تقریباً متعادل است، اما زراعت مقدار بیشتری از بعضی عناصر غذایی درمقایسه با آزادشدن برداشت می کند. هدررفت ناشی از آبشویی نشان داده نشده است.

مقدار آزادشده و یا برداشت شده (کیلوگرم در هکتار)				هوادیدگی طبیعی - جنگل کاری، کشاورزی
منیزیم	کلسیم	پتاسیم	فسفر	آزادشده از مواد آذین در طول ۵۰ سال
۵۰-۵۰۰	۱۵۰-۱۵۰۰	۲۵۰-۱۰۰۰	۵-۲۵	برداشت شده در محصولات چوبی یک جنگل ۵۰ ساله پهن برگ
۲۵-۱۰۰	۱۷۵-۲۵۰	۶۰-۱۵۰	۱۰-۲۰	برداشت شده در ۵۰ سال محصول سالانه در یک تناوب ذرت، گندم، سویا
۵۰۰	۱۵۰	۲۰۰۰	۱۲۰۰	

جنگل های مناطق سردسیر، که در آن ها نرخ اندک تجزیه ی ماده ی آلی سبب عدم تحرک نیتروژن سامانه در لاشیرگ کف جنگل می باشد از این نظر بسیار کارا تر از جنگل های گرمسیری و معتدل می باشند (جدول ۵-۱۶).

اگرچه درختان همانند محصولات زراعی ممکن است اکثر عناصر غذایی خود را از افق های سطحی به دست آورند، شیوه ی خاص به دست آوردن عناصر غذایی در درختان شاخص می باشد. به خاطر رشد چند ساله و نظام ریشه عمیق آن ها، درختان در جمع آوری عناصر غذایی از اعماق خاکرخ که عمده آزادشدن عناصر غذایی از مواد مادری در آن جا صورت گرفته و عناصر غذایی در طبقات بالا در آن جا تمرکز می یابند. بسیار تطابق یافته اند. بازدهی استفاده از عناصر غذایی بعضی مواقع می تواند با ترکیب درختان و نباتات زراعی در نظامی که به آن نظام جنگل-زراعی^۱ گفته می شود افزایش یابد (شکل های ۹-۱۶ و ۱۰-۲۰). درختان ممکن است حاصلخیزی خاک را از چند طریق بهبود بخشید. درختان می توانند همانند یک تلمبه ی عناصر غذایی عمل کنند، عناصر غذایی موجود در اعماق زمین را که در اثر هوادیدگی و یا آبشویی از طبقات بالا فراهم شده اند بالا آورده و آن ها را در سطح خاک به صورت لاشیرگ انباشته کنند که پس از تجزیه، عناصر غذایی را آزاد نموده و به وسیله ی محصولات زراعی با ریشه کوتاه جذب گردند. درختان تثبیت کننده نیتروژن (عمدتاً نیامداران) همچنین می توانند لاشیرگ غنی از نیتروژن به خاک سطحی افزوده کنند. همچنین، ممکن است درختان با به دام انداختن گرد و خاک بادرشته حاصلخیزی خاک را در اطراف خود ارتقای داده و بنابراین، سبب افزایش ترسیب عناصر غذایی مانند کلسیم، فسفر و گوگرد گردند.

جدول ۵-۱۶ توزیع شاخص عناصر غذایی از چند نوع بوم سامان جنگلی

عناصر غذایی و نوع جنگل	پوشش گیاهی kg/ha	کف جنگل kg/ha	مدت زمان توقف در کف جنگل (سال)
نیتروژن	سوزنی برگان سردسیری	۳۰۰-۵۰۰	۲۰۰
	پهن برگان معتدل	۱۰۰-۱۲۰۰	۶
	جنگل بارانی گرمسیری	۱۰۰۰-۴۰۰۰	۰/۶
فسفر	سوزنی برگان سردسیری	۳۰-۶۰	۳۰۰
	پهن برگان معتدل	۶۰-۸۰	۶
	جنگل بارانی گرمسیری	۲۰۰-۳۰۰	۰/۶
پتاسیم	سوزنی برگان سردسیری	۱۵۰-۳۵۰	۱۰۰
	پهن برگان معتدل	۳۰۰-۶۰۰	۱
	جنگل بارانی گرمسیری	۲۰۰۰-۳۵۰۰	۰/۲
کلسیم	سوزنی برگان سردسیری	۲۰۰-۶۰۰	۱۵۰
	پهن برگان معتدل	۱۰۰۰-۱۲۰۰	۳
	جنگل بارانی گرمسیری	۳۵۰۰-۵۰۰۰	۰/۳



(الف)



(ب)

شکل ۹-۱۶ دو نمونه از نظام جنگل-زراعی. (الف) ریشه عمیق *Acacia albida* سبب غنی‌شدن خاک در زیر شاخه‌های گسترش یافته خود می‌شود (پیکان یک فرد را نشان می‌دهند). این درختان به‌طور مرسوم در فصل خشک برگ کرده و برگ‌های خود را در طول فصل پرباران، که محصولات زراعی در حال رشد هستند از دست می‌دهند. این یک سنت آفریقایی است که وقتی اراضی برای کشت محصولات از پس‌مانده‌های گیاهی پاک می‌گردند این درختان باقی می‌مانند. محصولاتی که در زیر این درختان می‌رویند دارای مقادیر بالایی از گوگرد، نیتروژن و سایر عناصر غذایی هستند. (ب) شاخه‌های هرس‌شده از ردیف‌های درختان نیامدار دارای فواصل زیاد به‌صورت پوشش بر روی راهروهای بین ردیف‌های درختان پخش می‌شود. این پوشش سبب غنی‌شدن خاک و همچنین ذخیره رطوبت در این راهروها می‌گردد. درختانی که در این نظام کشت می‌شوند ممکن است از درختان کشت‌شده به‌تنهایی عملکرد بیشتری داشته باشند به‌شرط آن‌که رقابت بین درختان و گیاهان زراعی برای نور و آب باید در کمترین مقدار باشد.

تأمین نیتروژن به‌وسیله‌ی گیاهان پوششی نیامدار

قبلاً به بسیاری از مزایای گیاهان پوششی اشاره شد در این‌جا ارزش گیاهان پوششی نیامدار را در تأمین نیتروژن برای جذب گیاه غیرنیامدار بعدی مورد بررسی قرار می‌دهیم. نیامداران یک‌ساله‌ی زمستانی مانند خلر، شیدر و نخود می‌توانند در پاییز پس از محصولات اصلی کاشته شوند، و یا اگر فصل رشد کوتاه باشد در داخل نبات اصلی به‌وسیله‌ی هواپیما کشت گردند. هدف اینست که قبل از آن‌که هوای زمستانی برای رشد نبات پوششی خیلی سرد گردد نیامدار استقرار یابد. سپس در بهار نبات پوششی رشد خود و تثبیت زیستی نیتروژن را ادامه دهد، به‌طوری‌که در هوای گرم بهاری می‌تواند حدود ۳ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در روز تثبیت کند. پوشش سپس کشته شده و در سطح زمین به‌صورت خاک‌پوش در نظام نبود عملیات^۱ خاک‌ورزی باقی‌مانده، و یا در نظام عملیات خاک‌ورزی معمول با شخم به داخل خاک برگردانده شود. یک پوشش زمستانی قوی می‌تواند مقادیر قابل توجهی نیتروژن را برای زراعت اصلی که به‌دنبال خواهد آمد تأمین کند (شکل ۱۰-۱۶).

یک نظام گیاه پوششی ممکن است قادر باشد که بخشی و یا تمام کود نیتروژن‌داری را که معمولاً برای کشت نبات اصلی لازم است تأمین کند. بسته به قیمت کود شیمیایی و هزینه‌ی بذر گیاه پوششی ممکن است یک صرفه‌جویی مالی نیز صورت گیرد. استفاده از نبات پوششی نیامدار زمستانه برای تأمین نیتروژن گیاهان غیرنیامدار با توسعه‌ی نظام‌های کشاورزی پایدارتر به‌طور روزافزون رایج می‌شود. این نظام گیاهان پوششی برای استفاده در باغ‌های میوه، برنج‌زارها (در طول فصل خشک زه‌کشی می‌شوند)، مزارع ذرت، و سبزی‌کاری‌ها و باغچه‌ها سازگاری یافته است.

تناوب زراعی

کشت یک محصول خاص سال‌ها به‌دنبال یکدیگر در همان زمین معمولاً عملکرد کمتری در آن محصول ایجاد کرده و اثرات منفی زیادی بر خاک و محیط درمقایسه با کشت آن در تناوب با گیاهان مختلف دیگر به‌وجود خواهد آورد. بهبود توان تولید نباتات مورد اشاره در کشت گیاهان در تناوب با یکدیگر ممکن است ناشی از اثر گیاهان مختلف در قطع چرخه‌ی زیستی گیاهان هرز، امراض، و آفات؛ اثرات حاصلخیزی خاک ناشی از انواع مختلف ریشه‌های نباتات، پس‌مانده‌های گیاهی و نیازهای مختلف نباتی با اثرات دگرآزایی^۲؛ همساز (بخش ۱۶-۱۲ را مشاهده کنید)، و احتمالاً اثرات مثبت بر روی تنوع قارچ-ریشه باشد (بخش ۹-۱۱). شاید این‌ها و دیگر پدیده‌ها مشخص کنند

¹ - No tillage

² - Allelopathy

که چرا هنگامی که آفات و تأمین عناصر غذایی نیز به طور مطلوب مهار می شود عملکرد پایدار محصول در تناوب ۱۰ تا ۲۰ درصد از کشت متوالی آن محصول بیشتر است.

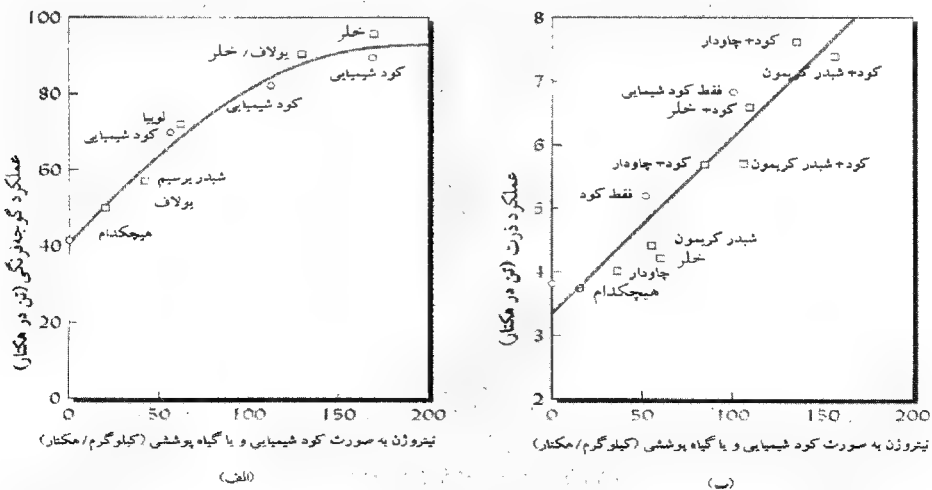
مطالعات تفصیلی نظام های مختلف کشت و تناوب ها خارج از حوصله ی این کتاب است، اما جنبه های مدیریتی نیام داران تناوبی با غیر نیام داران نیازمند یادآوری است.

مشابه با اثرات گیاهان پوششی که هم اکنون تشریح گردید ممکن است یک نبات نیامدار اصلی مقدار نیتروژن مورد نیاز گیاه غیر نیامدار بعدی را به مقدار قابل ملاحظه ای تأمین کند، هرچند بخش اعظم زیتوده و نیتروژن تجمع یافته در نبات نیامدار با برداشت آن از خاک خارج می گردد. نباتات نیامدار چندساله مانند یونجه تمایل دارند که بیشترین اثرات را در این رابطه داشته باشند، اما تأمین نیتروژن به وسیله ی نیامداران دانه ای مانند سویا، بادام زمینی نیز باید در برنامه ریزی تأمین نیتروژن نبات غیر نیامدار مانند غلات در محاسبات منظور گردد (شکل ۱۱-۱۶).

جلوگیری از آتش سوزی های^۱ شدید

در آتش سوزی ها مقدار زیادی نیتروژن و گوگرد و مقداری فسفر به اشکال گازی تبدیل شده که بدان صورت از منطقه خارج می شوند. اراضی سوخته شده همچنین فسفر بیشتری را در رواناب برای چندین سال بعد از آتش سوزی از دست می دهد (جدول ۳-۱۴ را مشاهده کنید). خاکسترها هم از آتش سوزی های تحت مهار^۲ و هم از آتش سوزی های شدید دارای مقادیر زیادی P و Ca, Mg, K محلول می باشند که سبب قابل استفاده بودن کوتاه مدت این عناصر می گردد گرچه سبب افزایش میزان هدررفت کاتیون ها از بوم سامان جنگلی نیز می شود. آتش سوزی های سرکش سبب هدررفت بیشتر عناصر غذایی می شوند زیرا دمای بالای همراه با این آتش ها بعضی از مواد آلی خاک، و همچنین زیتوده ی در بالای سطح آن را نیز نابود می سازد. کشاورزانی که پس مانده های گیاهی را بعد از برداشت می سوزانند، باعث هدررفت مشابهی در مزارع خود خواهند شد.

جنبه غذایی دیگر آتش سوزی های جنگلی این واقعیت است که آتش فرو نشان های مورد استفاده برای مبارزه با آتش سوزی های سرکش خود عمدتاً موادی همانند کودهای شیمیایی می باشند. دی آمونیوم فسفات (DAP)، منو آمونیوم فسفات (MAP) و آمونیوم سولفات (AS) برای فرو نشانیدن آتش به طور وسیعی مورد استفاده قرار می گیرند. نیتروژن و فسفر در این مواد شیمیایی ممکن است سبب رشد سریع در اراضی سوخته گردند. هرچند ممکن است در صورت هدررفت به داخل رودخانه ها، به دلیل جذب کمتر در نبود نبات و رواناب بیشتر، که بلافاصله به دنبال از بین رفتن اکثر پوشش گیاهی بعد از آتش سوزی شدید به وجود می آید، سبب تهدید کیفیت آب گردند.

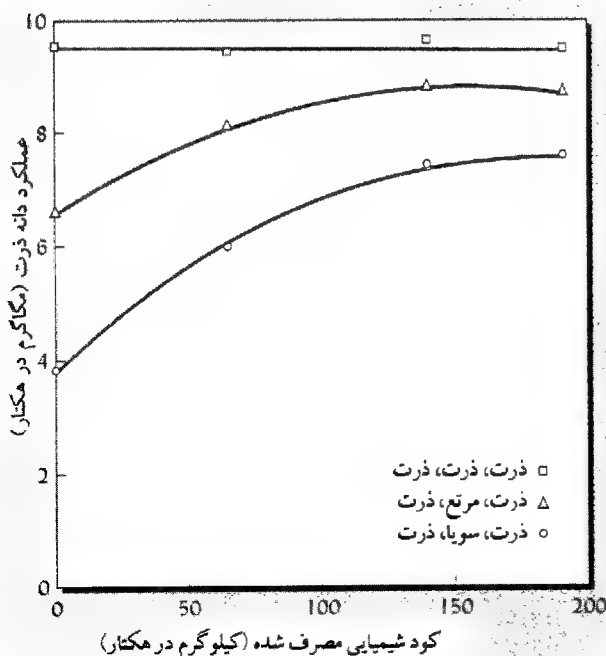


شکل ۱۰-۱۶ اثرات قابل مقایسه ی گیاهان پوششی زمستانه و کودهای شیمیایی بر عملکرد محصول بعدی. الف) عملکرد گوجه فرنگی کشت شده برای فراوری در یک خاک زراف (در کالیفرنیا) ب) عملکرد نبات ذرت در خاک یودالف در کنتاکی. مقدار نیتروژن نشان داده شده در محور X ها به صورت کود شیمیایی و یا بقایای سطحی گیاهان پوششی به خاک داده شده است. توجه داشته باشید که نیتروژن از هر دو منبع یکسان مؤثر بوده است. در نبات گوجه فرنگی نیازمند تأمین نیتروژن در مدت زمان طولانی می باشد، خنلر به تنهایی و یا مخلوط با یولاف نیتروژن کافی حتی تا نزدیک عملکرد بهینه تأمین نموده است.

^۱ - Wildfires

^۲ - Prescribed burns

از بورات‌ها نیز به‌عنوان خاموش‌کننده آتش استفاده می‌شود. میزان بر ممکن است برای چندین سال برای نبات سمی باشد (بخش ۱۱-۱۵ را مشاهده کنید) و احتمالاً رشد دوباره گیاهان را در اراضی سوخته‌شده که در آن‌ها بورات مصرف گردیده و در تلاش برای رشد مجدد می‌باشند به تأخیر اندازد.



شکل ۱۱-۱۶ کود شیمیایی نیتروژنی مورد نیاز ذرت معمولاً با کشت ذرت در تناوب با نیامداران کاهش می‌یابد و این یکی از دلایلی است که چرا تاریخ کشت یک مزرعه برای تصمیم‌گیری در مورد میزان کود شیمیایی برای غلات باید مورد ملاحظه قرار گیرد. تناوب‌های معرفی شده در شکل عبارتند از (ذ.ج.ذ) ذرت چمن ذرت، (ذ.ذ.ذ) ذرت، ذرت، ذرت و (ذ.س.ذ) ذرت، سویا، ذرت. چمن موجود در تناوب شامل کشت چند ساله یونجه و علف پشمکی بود. اطلاعات اگر چه معرف نتایج در خاک‌های مختلف ایالت آیوا می‌باشد، اما برای بسیاری از مناطق جهان نیز معرف و شاهد می‌باشد. نیتروژن کمتری در ذرت کاشته شده پس از سویا در مقایسه با تناوب ذرت، ذرت باید مصرف گردد. ذرت به‌دنبال مرتع چندساله مخلوط یونجه و علف پشمکی به اضافه کردن نیتروژن به‌ندرت عکس‌العملی را بروز دهد. مزایای تناوب غیر از تأمین نیتروژن از این حقیقت ناشی می‌شود که صرف‌نظر از میزان کود شیمیایی مصرف‌شده کشت ذرت پس از ذرت عملکرد کمتری از ذرت در تناوب با محصولات دیگر تولید می‌کند.

۵-۱۶ بازچرخ عناصر غذایی در کود دامی

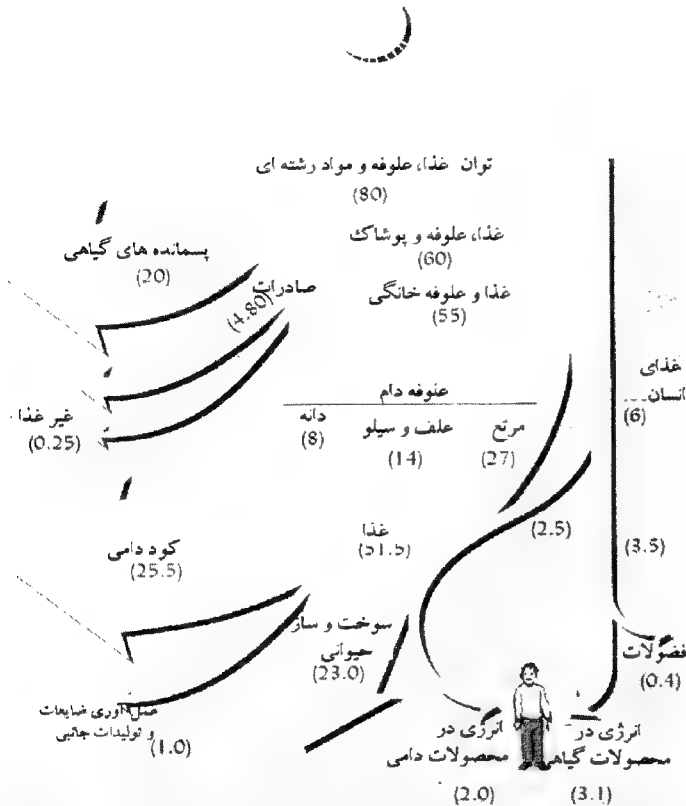
قرن‌ها است که استفاده از کود دامی مترادف با کشاورزی پایدار و موفق می‌باشد. کود دامی نه تنها ماده‌ی آلی و عناصر غذایی را برای خاک تأمین می‌کند، بلکه در ارتباط با کشاورزی نیروی دامی و گیاهان علوفه‌ای بوده که هر دو سبب حفاظت خاک می‌شوند. بخش زیادی از انرژی خورشیدی به‌وسیله‌ی نباتات در حال رشد اخذ شده نهایتاً به‌صورت کود دامی در می‌آید (شکل ۱۲-۱۶)، که تولید محصولات و حفاظت خاک با استفاده از آن ارتقای می‌یابد.

مقادیر عظیمی کود دامی هر سال برای برگرداندن احتمالی به اراضی موجود است برای هر کیلوگرم وزن زنده‌ی حیوانات مرزعه حدود ۴ کیلوگرم کود دامی خشک در هر سال تولید می‌شود. در آمریکا جمعیت احشام مزارع ۱۰ برابر مواد جامد کودی بیشتر از انسان‌ها دفع می‌کنند.

این کودهای دامی حاوی عناصر غذایی امکانی قابل توجه برای چرخه‌ی عناصر اصلی فراهم می‌آورند. متأسفانه، در ایالات متحده و سایر کشورهای صنعتی تولید متمرکز احشام «کارخانه‌ها» (جدول ۶-۱۶) به‌وجود آمده‌اند، که در آن‌ها مسأله دفع کود دامی بر استفاده از کود به‌عنوان یک منبع غذایی سایه می‌اندازد (شکل ۱۳-۱۶). دهه‌ها و حتی صدها هزار از احشام در پرواربندی‌ها تمرکز یافته و دفع فضولات آن‌ها یک چالش به‌حساب می‌آید. از طرف دیگر، وقتی کود دامی در زیر پای احشام قرار دارد، و یا بعد از آن‌که به‌صورت کپه‌های بزرگی جمع‌آوری می‌شود، بیشتر نیتروژن آن به‌صورت آمونیاک طی فرایند نیترات‌زدایی به نیوار باز می‌گردد. مقداری نیز به‌صورت نیترات مورد آبشویی قرار می‌گیرند (جدول ۷-۱۶). آب زیرزمینی در این پرواربندی‌ها اغلب به‌وسیله‌ی نیترات و عوامل بیماری‌زا آلوده شده‌اند و برای آشامیدن مناسب نمی‌باشند.

برای تجسم عظمت مسأله دفع کود دامی یک پرواربندی ۵۰۰۰۰ راسی گاو را در نظر بگیرید که سالانه ۹۰۰۰۰ مگاگرم کود دامی پس از تجزیه مقدار قابل‌ملاحظه‌ای و هدررفت ادرار آن تولید می‌کند. اگر قرار باشد این کود هر دو سال یک‌بار به‌صورت مرسوم به مقدار ۲۵ مگاگرم در هکتار مصرف شود تا ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن را در هکتار تأمین کند به ۷۲۰۰ هکتار زمین نیاز خواهیم داشت. برای پیدا کردن این

همه زمین، کود دامی احتمالاً باید ۷-۱۲ کیلومتر دورتر از پروار بندی جایه‌جا شود. برای صرفه‌جویی در هزینه‌های حمل و نقل، کود دامی معمولاً در مقادیر بیشتر از نیاز در خاک مصرف می‌شود، که نتیجه‌ی آن ایجاد زیان‌های شوری در نباتات و خاک‌ها، و وارد شدن نیتروژن و فسفر به آب‌های سطحی. زیرزمینی می‌باشد. در طول زمان، به دو برابر این مساحت زمین احتیاج خواهیم داشت. زیرا میزان مصرف کود دامی باید با منظور نمودن آزاد شدن نیتروژن در مصارف کود در سال‌های قبلی کاهش یابد.

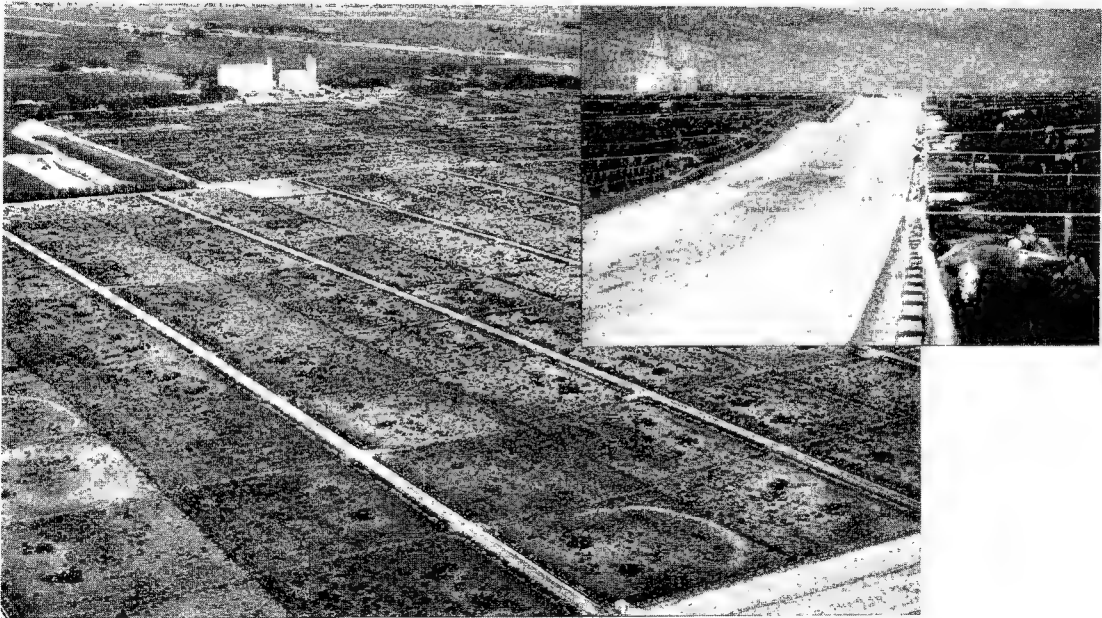


شکل ۱۶-۱۲ جریان انرژی برآورده شده برای زنجیره‌ی غذایی انسان در آمریکا (داده‌ها بر حسب میلیون‌تول در سال) که نشان می‌دهد بخش زیادی از انرژی نهایتاً در کودهای دامی پیدا می‌شوند. حتی بخش بزرگ‌تری از عناصر غذایی (نشان داده نشده است) از زنجیره غذایی نهایتاً به کود دامی متهمی می‌شود.

جدول ۶-۱۶ کارخانه‌های تولید احشام

تمرکز تولید احشام در آمریکا در پروار بندی های عظیم و «کارخانه‌های» مخصوص تولید دام مفهوم استفاده از عنصر غذایی موجود در کود دامی را به عنوان مکانی در ارتقای تولید به یک معضل برای جلوگیری از آلودگی محیط زیست تبدیل کرده است.

احشام	میزان تراکم
گاو گوشتی	بیشتر از ۱/۳ گاو مورد خرید و فروش در بازار آمریکا از ۷۰ پروار بندی از ۴۵۰۰۰ پروار بندی ملی کشور حاصل می‌شود امکانات وسیعی در تگزاس - نبراسکا و کانزاس وجود دارد.
طیور	۹۷ درصد از طیور مورد خرید و فروش از واحدهایی حاصل می‌شود که بیشتر از ۱۰۰,۰۰۰ قطعه در سال مرغ گوشتی تولید می‌کنند.
خوک	در ایالت‌های کارولینای شمالی و جنوبی که صنعت پرورش خوک به‌طور روزافزونی در آن تمرکز یافته است، حدود ۸۰ درصد گوشت خوک از واحدهای حاصل می‌شود که ۵۰۰۰ راس و بیشتر دارند. در ایالت‌های که داری پرورش سستی خوک هستند، این نسبت ۶٪ است.
گاو شیری	مزارع گاو شیری از ۲۵۰ هزار واحد در دهی گذشته به ۱۵۰ هزار واحد در حال حاضر تنزل یافته و تعداد گاوها در واحد به‌طور متوسط به بیشتر از ۵۰ درصد افزایش یافته است.



شکل ۱۳-۱۶ منظره‌ی هوایی از یک پرواریندی بزرگ در ایالت کلرادو که در آن ۱۰۰/۰۰۰ دام از دانه‌های وارده شده از مزارع دور تغذیه می‌کنند. عکس جای‌گذاری شده منظره نزدیک پرواریندی شبیه آن است. به‌نظر نمی‌رسد که مدیران پرواریندی قادر باشند عناصر غذایی موجود در کود دامی را به همان اراضی که علوفه دام‌ها در آن کشت بودند، باز چرخ کنند. در این موقعیت، کود دامی به‌جای آن‌که یک منبع غذایی باشد، یک مزاحم بدون استفاده بوده و نیازمند ازبین‌بردن است، چالش، پیدا کردن راه‌هایی است که نظام کشاورزی را در یک حالت پایدار بوم‌شناسی حفظ کند.

ترکیب عناصر غذایی در کود دامی

از آن‌جاکه کود دامی مورد مصرف ترکیبی از مدفوع و ادرار به انضمام مواد بستر (کف‌پوش) و علوفه دور ریخته شده می‌باشد، ترکیب آن بسیار متغیر است (جدول ۸-۱۶). برای هر دام خاص مقدار آب و عناصر غذایی در یک مقدار مشخص کود دامی بسته به کیفیت علوفه، دام، مدیریت کود و شرایطی است که طی آن ذخیره شده است. تغییر در یک نوع حیوان درمقایسه با حیوانات مختلف دیگر (مثلاً کود جوجه‌ی کبابی در مقایسه با کود اسب)، حتی بیشتر است بنابراین، بایستی در تفسیر و اظهارنظر کلی درمورد ارزش و استفاده از کود دامی محتاط بود.

حیوانات بخش بزرگی از عناصر غذایی مصرف شده در علوفه خود را دفع می‌کنند به‌طور کلی حدود $\frac{3}{4}$ نیتروژن $\frac{4}{5}$ فسفر و $\frac{9}{10}$ پتاسیم بلعیده شده به‌وسیله‌ی حیوان در کود دامی مشاهده می‌شود. به این دلیل کود دامی منبع با ارزشی از عناصر پر مصرف و کم‌مصرف می‌باشد. (جدول ۹-۱۶)

ادرار (به‌استثنای طيور که اسید اوریک جامد را به‌جای اوره تولید می‌کنند) و مدفوع اجزای با ارزش کود دامی می‌باشند. به‌طور متوسط حدود نصف نیتروژن، حدود تمام فسفر و حدود $\frac{3}{4}$ پتاسیم در کود دامی جامد یافت می‌شود با این وصف مزیت بالای عنصر غذایی موجود در کود جامد درمقایسه با قابلیت استفاده آسان عناصر غذایی در ادرار کاهش می‌یابد. باید در مدیریت و انبارنمودن کود دامی برای به‌کمینه‌رساندن تلفات بخش مایع احتیاط کرد.

اطلاعات موجود در جدول ۹-۱۶ نشان می‌دهد که کود دامی در مقایسه با کود شیمیایی دارای عناصر نسبتاً پایین‌تری بوده و نسبت عنصر غذایی فسفر آن به‌مراتب کمتر از نیتروژن و پتاسیم است. براساس وزن خشک، کود دامی دارای ۲ تا ۵ درصد نیتروژن، $\frac{1}{5}$ تا ۲ درصد فسفر و ۱ تا ۳ درصد پتاسیم می‌باشد این نسبت‌ها، $\frac{1}{2}$ تا $\frac{1}{10}$ نسبت‌های عناصر در کودهای شیمیایی جدید می‌باشد.

مادامی که کود دامی به‌طور خاص عمل نیامده باشد، به‌صورت خشک توزیع نمی‌شود. از آن‌جاکه این کود از حیوان دفع می‌گردد دارای درصد بالایی از آب است، که معمولاً از ۳۰ تا ۴۰ درصد در کود مرغی تا ۷۰ تا ۸۰ درصد برای گاو شیری متفاوت است (جدول ۹-۱۶) را مشاهده کنید). اگر کود تازه به‌صورت جامد مدیریت شده و به‌صورت مستقیم بر روی زمین پخش گردد (شکل ۱۴-۱۶)، آب زیاد یک مزاحم بوده و سبب پرمزینه‌شدن حمل‌ونقل می‌شود. اما اگر کود دامی مدیریت گردیده و به‌صورت مایع و یا آبکی درآید، در این‌صورت

آب بیشتری نیز باید اضافه گردد. در هر حال این آب سبب رقیق شدن میزان عناصر غذایی کود در صورت توزیع معمولی در مزرعه خواهد شد تا جایی که مقادیر، بسیار پایین تر از آن‌ها که در مورد کود دامی خشک ارائه گردید، خواهد شد. میزان آب زیاد حمل و نقل کود دامی را به مزارع دورتر که در آنجا فوق‌العاده مورد نیاز می‌باشد مشکل می‌سازد.

جدول ۷-۱۶ اثرات خاک و خصوصیات محل در درصد چاه‌هایی که در یک مطالعه مزرعه‌ای دارای غلظت نیتروژن نیتراته ۱۰ میلی گرم در لیتر بوده‌اند، بالاترین سطحی که برای مصرف انسان مناسب است. حدود، ۳۵۰۰۰ چاه در ۵ ایالت مرکز غرب نمونه‌برداری شد. توجه کنید که مناطق با خاک‌های شنی، نزدیک اراضی زارعی، اصطیل‌ها، و مناطق با چاه‌های کم عمق دارای بالاترین سطح نیترات بودند. ۲۵ درصد مناطق با چاه‌های کم عمق که نزدیک اصطیل‌ها بودند دارای میزان نیتروژن نیتراتی بالاتر از ۱۰ میلی گرم در لیتر بودند.

خصوصیات	تعداد چاه‌ها	درصد با سطح نیترات بیشتر از ۱۰ میلی گرم در لیتر
بافت خاک		
شنی	۲۴۱۲	۷/۲
متوسط	۶۷۸۹	۴
رسی	۶۴۱۵	۳/۱
نزدیکی به اراضی زارعی		
در فاصله ۶ متر	۱۶۸۴	۶/۴
در فاصله ۶۰ متر	۸۵۷۴	۴/۸
خارج از دید	۳۰۹۸	۱/۸
نزدیکی به پرواربندی‌ها و اصطیل‌ها		
در فاصله ۶ متر	۷۰۴	۱۲/۲
در فاصله ۶۰ متر	۳۵۹۴	۵/۲
خارج از دید	۷۵۲۰	۲/۸
عمق چاه		
متر ۱۵ < کم عمق	۳۴۶۷	۹/۷
متر ۳۰ > عمیق	۵۱۰۶	۱/۱
دو عامل و با بیشتر		
چاه کم عمق، نزدیک اراضی زارعی	۳۹۳	۱۲/۲
چاه کم عمق، نزدیک اصطیل‌ها	۱۵۸	۲۵/۳
چاه کم عمق، خاک شنی، نزدیک اراضی زراعی	۷۰	۲۰

جدول ۸-۱۶ نمونه‌ای از ترکیب متغیر کود دامی: اطلاعات بر اساس ۲۸ نمونه از کود اسبی ارسالی به یک آزمایشگاه طی ۵ سال می‌باشد.

نیتروژن کل	نیتروژن محلول	فسفر	پتاسیم	آب
درصد وزن کود تازه				
۰/۲۱	۰	۰/۰۴	۰/۰۷	۳۹
۰/۸۵	۰/۱۴	۰/۷۵	۱	۸۰
۰/۵۱	۰/۰۳	۰/۱۶	۰/۳۵	۶۳

۶-۱۶ ذخیره کردن، بهبود مدیریت کود دامی

وقتی دامپروری و زراعت در یک مزرعه تلفیق گردد، مدیریت کود دامی مسأله‌ای مهمی نخواهد بود (شکل ۱۴-۱۶). استفاده از چراگاه می‌تواند در این نظام به بیشینه مقدار برسد تا حیوانات کود را در اثنای چرای خود توزیع کنند. کود دامی حاصل از حیوانات محصور در مقادیر چنان اندکی تولید می‌شود که هر روز می‌توان آن را به مزرعه انتقال داده، و یا در مواقعی که شرایط خاک برای توزیع مناسب نیست در محل مسقف ذخیره گردد. مقدار کل عناصر غذایی موجود در کود دامی تولیدشده در مزرعه در این نظام مقداری کمتر از نیاز گیاهان کاشته شده می‌باشد بنابراین، مقادیر نسبتاً کم کود شیمیایی برای جبران تفاوت لازم است.

وقتی حیوانات در محل‌های محصورشده بزرگ به تعداد زیاد تمرکز یابند، مسأله‌ی دفع کود دامی بر استفاده از آن پیشی خواهد گرفت. ۴ نظام مدیریتی کلی کود دامی مورد استفاده می‌باشد. اول، جمع‌آوری و توزیع روزانه‌ی کود دامی، یک راه‌حل مطلوب است که معمولاً به‌کار نمی‌رود. دوم، جمع‌آوری و تراکم کود در کپه‌هایی که در آن امکان تجزیه‌ی قبل از توزیع تا حدی فراهم می‌شود. ممکن است در بعضی پرواربندها کود دامی و بعضی ضایعات علوفه‌ای به‌صورت کپه‌هایی در محیط باز تمرکز یابد. سوم، ذخیره و فراوری در استخرهای دارای تهویه، که یا به اندازه‌ی کافی کم‌عمق بوده که امکان اکسایش مواد آلی در آن فراهم است و یا اکسیژن با کود آبکی مخلوط می‌شود. چهارم، ذخیره و فناوری به‌صورت مایع غیرهوازی در مخازن عمیق، که در آن به کود اجازه داده می‌شود در نبود اکسیژن عنصری تخمیر گردد، متان و آمونیاک گازهای معمول این تخمیر بوده و نیترات‌زادای در آن به‌مقدار زیادی صورت می‌گیرد. وقتی تجزیه مواد آلی مقدار زیادی در این مخازن صورت گرفت، باقی‌مانده آن‌ها که شامل بعضی عناصر غذایی مثل نیترات است، می‌تواند به‌شکل مایع در خاک مصرف گردد.

هرکدام از این روش‌های مدیریتی در مدیریت عناصر غذایی کود مؤثر می‌باشد (جدول ۱۰-۱۶). بیشترین هدررفت عناصر غذایی، به‌ویژه نیتروژن، هم از ذخیره‌ی کود در فضای باز و هم از ذخیره‌سازی در مخازن عمیق صورت خواهد گرفت. در ذخیره کود در فضای باز بیشتر به‌صورت گاز آمونیاک تصعید گشته (بخش ۶-۱۲ را مشاهده کنید)، و مقدار قابل‌توجهی عناصر غذایی بر اثر بارندگی آبشویی خواهد شد. متأسفانه، کف بسیاری از این مخازن عمیق و استخرها برای کاهش نشت با رس پوشیده نشده‌اند. آب و عناصر غذایی اضافی می‌توانند در داخل دیواره‌های مخازن عمیق به آب زیرزمینی و داخل رودخانه‌ها و دریاچه‌ها وارد شوند و سبب طغیان جلبک‌ها، غنی‌شدن و مرگ ماهی‌ها و سایر حیوانات وحشی شوند. روشن است بازچرخ عناصر غذایی در فهرست اولویت‌های اکثر طرح‌های مخازن عمیق پایین می‌باشد. روش‌های مدیریت کود دامی که هم از آلودگی ممانعت نموده و هم عناصر غذایی را در شکلی نگهداری می‌کند که به آسانی قابل انتقال و به‌صورت تجاری قابل فروش باشد کمک بسیار بزرگی به بهبود مسأله‌ی کود دامی در موسسات پرورش دام خواهند کرد. گزینه‌های مختلفی در حال حاضر ابداع شده است که سه نوع آن در زیر مورد تشریح قرار خواهد گرفت.



شکل ۱۴-۱۶ پخش کود دامی جامد روی اراضی زراعی سبب بازچرخ مؤثر عناصر غذایی شده اما برای زارع کاربر و زمان‌گیر است. حجم زیادی کود برای کوددادن این مزرعه باید حمل گردد. کود دامی هرچه سریع‌تر پس از پخش باید با خاک مخلوط شود و پخش کود بر روی خاک پیچ‌زده انجام نگیرد. تنظیم دستگاه‌های پخش‌کننده برای جلوگیری از حد غیرعمدی عناصر غذایی باید انجام گیرد.

جدول ۹-۱۶ منابع عناصر غذایی آلی قابل استفاده معمول: میزان عناصر غذایی و سایر خصوصیات آن‌ها

ملاحظات	گرم در مگاکرم وزن خشک						درصد وزن خشک				نیروزن کل	آب (الف)	مواد
	مولیدن	پر	مس	روی	منگنز	آهن	گوگرد	منیزیم	کلسیم	پتاسیم	فسفر		
ممکن است دارای کربن زیاد بستر، ارسنیک و نمک‌های محلول آمونیاک باشد	۰/۷	۴۰	۱۷۲	۴۸۰	۴۱۳	۱۰۰۰	۰/۶	۱	۲/۳	۲/۶	۲/۱	۴/۴	کود مرغی (بجوجه کبابی) (ب)
ممکن است دارای کربن زیاد بستر باشد	-	۲۰	۳۰	۱۶۵	۱۶۵	۱۸۰۰	۰/۳	۰/۸	۱/۴	۲/۱	۰/۷	۲/۴	کود گاوی (گاو شیری) (ج)
ممکن است دارای مقادیر بالای Cu باشد	۰/۶	۷۵	۱۵۰	۳۹۰	۱۸۲	۱۱۰۰	۰/۳	۰/۳	۱/۶	۱/۲	۰/۸	۲/۱	کود خوک (د)
-	-	۳۰	۳۰	۱۷۵	۱۵۰	-	۰/۲	۰/۲	۰/۵	۱	۰/۶	۳/۵	کود گوسفندی
ممکن است دارای کربن زیاد بستر باشد	-	-	۲۵	۱۲۵	۲۰۰	-	۰/۳	۰/۶	۱/۶	۱	۰/۴	۱/۴	کود اسبی
ممکن است دارای نمک زیاد (تا ۱۵ درصد) باشد	۱	۱۴	۲	۸	۴۰	۵۰۰۰	۰/۵	۰/۷	۱/۳	۲	۰/۷	۱/۹	کود گاوی (پروار بندی) (۱)
عناصر غذایی در مراحل رشد نهایی نبات کاهش می‌یابد	۰/۰۵	۵	۵	۴۰	۵۰	۱۰۰	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۱	۲/۱	۰/۲	۲/۵	کود سبز چادار جوان
-	۳	۱۵۰۰	۱۰	۵۰	۱۰۰	۱۰۰	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۱/۸	۰/۲	۲/۵	حلف نیامدار خراب شده
ممکن است دارای نسبت C/N زیاد و فلزات سنگین بیشه و پلاستیک باشد	۷	۶۰	۲۸۰	۶۵۰	۵۰۰	۱۴۰۰۰	۰/۰/۳	۰/۳	۳/۱	۰/۴	۰/۳	۱/۲	کمپوست فضولات جامد شهری (۱)
ممکن است دارای نمک‌های محلول و فلزات سنگین در حد سمیت باشد	۱۵	۱۰۰	۵۰۰	۷۰۰	۲۰۰	۱۶۰۰۰	۰/۲	۰/۲	۱/۵ (۳)	۰/۳	۲	۴/۵	لجن فاضلاب
C/N زیاد باید با مصرف نیروزن تکمیل شود	-	۳۰	۵۰	۵۰۰	۸۰۰۰	۲۰۰۰	۰/۲	۱/۱	۰/۲	۰/۲	۰/۲	-	مواد زائد چوب

(الف) میزان آب برای کود تازه داده شده است. روش‌های فراوری و ذخیره میزان آب محتوی را به کمتر از ۵ درصد (خشک شده در حرارت) پایین‌تر از ۹۳٪ (منابع کودی) می‌رساند.

(ب) ترکیب کود مرغی و کود گاو شیری به ترتیب از میانگین ۸۰۰ و ۴۰۰ نمونه تعیین شده است. (۱) ترکیب فضولات جامد شهری کمپوست شده بر اساس اطلاعات مختلف است.

(ج) ترکیب کود خوک، گوسفندی و اسب از اعداد اتحادیه ترویج کاروبانی شمالی می‌باشد. (۲) گوگرد موجود در سولفات

(د) ترکیب کود گاو پروار بندی در مطالعات اقبال و پاورز گزارش شده است. (۳) میزان Fe و Cu لجن فاضلاب تا ۱۰ برابر بسته به روش عمل آمدن فاضلاب تغییر می‌کند

جدول ۱۰-۱۶ تأثیر روش‌های مدیریت و ذخیره در هدررفت عناصر غذایی در کود دامی. ارقام بیانگر دامنه‌ی درصد تلف‌شدن عناصر غذایی از زمان دفع کود تا مصرف آن در زمین می‌باشند.

درصد هدررفت			روش مدیریت و ذخیره کود دامی	
پتاسیم	فسفر	نیترژن		
۲۰-۳۰	۱۰-۲۰	۱۵-۳۵	نظام جامد	پاک‌کردن و انتقال روزانه
۵-۱۰	۵-۱۰	۲۰-۴۰	متراکم‌نمودن و کمپوست‌کردن آن	
۰-۵	۵-۱۰	۵-۲۵	نظام مایع	ذخیره هوازی در مخزن (الف)
۵۰-۸۰	۵۰-۸۰	۷۰-۸۰	ذخیره چاله‌ای غیرهوازی	

الف) بیشتر فسفر و پتاس در نظام مخزن عمیق در کف چاله رسوب کرده فقط با تخلیه و لایروبی قابل استفاده خواهد بود.

خشک‌کردن به‌وسیله‌ی حرارت و جبه‌ای کردن

این فناوری کود دامی را به‌وسیله‌ی حرارت خشک کرده و سپس محصول خشک‌شده را تحت فشار به جبه‌های کوچکی تبدیل می‌کند، که همانند کودهای شیمیایی می‌توان با آن‌ها رفتار نمود. این روش فرایند کود دامی نیازمند مصرف انرژی و سرمایه‌گذاری مالی قابل‌ملاحظه‌ای می‌باشد، اما محصول در صنایع تولید چمن و طراحی چشم‌انداز که سرمایه زیادی برای کودهای شیمیایی کُند آزادکننده عناصر قبلاً در آن مصرف می‌شد، مورد درخواست می‌باشد.

کمپوست‌کردن تجارتنی

روش دوم درحال تکامل کمپوست‌کردن پیشرفته کود دامی می‌باشد (بخش ۵-۱۲ را مشاهده کنید). درمورد کود مرغی، پرندگان مرده همراه با کود مرغی کمپوست‌شده و تولید تولید نهایی بسیار پایدار، بدون بوی مشمئزکننده، غنی از عناصر غذایی کُندآزادکننده عناصر غذایی است که به آسانی قابل مصرف بوده و مشتاقانه موردپسند بازار قرار گرفته است. کمپوست‌کردن یک فرایند تجزیه‌ی هوازی است و درمقایسه با روش خشک‌کردن و جبه‌ای کردن نیازمند سرمایه و انرژی کمتر می‌باشد.

هضم غیرهوازی و تولید بیوگاز

در این روش کود دامی به‌صورت محلول آبکی درآمده و امکان می‌یابد که به‌شکل غیرهوازی (هوا درداخل آن مخلوط نمی‌شود) در آید. همان‌طورکه در بخش ۲-۱۲ بیان گردید، گاز متان یکی از تولیدات عمده گازی تجزیه غیرهوازی می‌باشد. بیوگاز تولیدشده به‌وسیله‌ی هضم غیرهوازی کود دامی شامل ۸۰ درصد متان و ۲۰ درصد گازکربنیک است، این گاز می‌تواند بسیار شبیه گازهای تجاری طبیعی سوزانده شود. در کشورهای درحال توسعه تلاش کرده‌اند که هضم غیرهوازی کود دامی مقیاس کوچک را برای تأمین سوخت پخت‌وپز و گرمای منازل در روستاهای دور از دسترس مورد استفاده قرار دهند.

اخیراً موسسات تجاری متعددی در آمریکا برای تولید بیوگاز از کود دامی در مقیاس بزرگ استقرار یافته‌اند. این گاز عمدتاً برای تولید برق مورد استفاده قرار گرفته و به شرکت‌های محلی فروخته می‌شود. مایع باقی‌مانده پس از هضم هنوز دارای اکثر عناصر غذایی کود دامی می‌باشد (گرچه بیشتر کربن آلی به گاز تبدیل شده است) و می‌تواند به مزارع نزدیک تلمبه شده، و یا مورد فراوری بیشتر با کاربرد روش‌های فوق‌الذکر برای فروش و توزیع گسترده‌تر قرار گیرد.

ممکن است در آینده این فراوری‌ها همراه با نظام‌های جامع زراعت و دامداری، عدم تعادل جدی عناصر غذایی حاصل‌شده را با توجه به کود دامی در زراعت نوین، التیام بخشد.

۷-۱۶ فرآورده‌های جانبی صنعتی و شهری

احشام مزارع تنها تولیدکننده‌ی ضایعات حاوی عناصر غذایی در مقادیر زیاد نمی‌باشند. مردم و فعالیت‌های صنعتی آن‌ها نیز تولیدکننده ضایعات، عمدتاً درنقاط نسبتاً پرجمعیت شهری هستند. ۴ نوع فضولات آلی عمده که برای استعمال در اراضی دارای اهمیت می‌باشند، عبارتند از (۱) زیاله‌ی شهری، (۲) پساب و لجن فاضلاب، (۳) ضایعات فراوری محصولات غذایی، (۴) ضایعات صنایع الوار و

چوب. به دلیل نامشخص بودن محتوای عناصر سمی، سایر ضایعات صنعتی ممکن است به عنوان منابع کود آلی و عناصر غذایی برای استعمال در اراضی مورد قبول قرار گرفته و یا قرار نگیرند.

نگرانی جامعه برای کیفیت محیط زیست، تولیدکنندگان ضایعات را مجبور ساخته است که در فکر پیدا کردن راه های غیر آلاینده اما قابل انجام در دفع این مواد باشند. اگرچه دلیل عمده اضافه کردن این ضایعات به اراضی دفع سالم و مطمئن آنهاست، این ضایعات به عنوان منابع ارزشمند مواد اصلاح کننده خاک در کشاورزی، جنگل و احیای اراضی فرسایش یافته عمل می کنند. این مواد که زمانی فقط به صورت محصولات زاید که باید به رودخانه و دریا ریخته شوند در نظر گرفته می شوند امروزه به طور چشم گیری به عنوان منابع عناصر غذایی و ماده ی آلی، که می توانند به گونه ای سودمند برای ارتقای توان تولید خاک مصرف شوند، تلقی می گردند.

زباله ی شهری

مصرف زباله ی شهری، که به طور سستی در کشور چین و سایر کشورهای آسیایی به طور گسترده ای برای افزایش تولید محصولات کشاورزی مورد استفاده قرار می گیرد، در آمریکا و اروپا نیز به گونه ی وسیعی در حال گسترش می باشد. ابتدا فلز و شیشه و غیره از زباله ی شهری جدا گردیده و ضایعات آلی شهری کمپوست می شوند. گاهی همراه با لجن فاضلاب، کود مرغی و یا سایر مواد غنی از عناصر غذایی برای تولید کمپوست زباله های^۱، جامد شهری (ز، ج، ش) استفاده گردیده، بعداً در اراضی مصرف می شوند. بیشتر زباله ی شهری در آمریکا سوزانده شده و یا در داخل زمین مدفون می گردند (بخش ۱۱-۱۸ را مطالعه کنید). اما با توجه به کیفیت هوا و کمبود مناطق دفن زباله، مصرف این مواد را در خاک، به عنوان وسیله ای برای دفع آنها، به مقدار زیادی با اقبال مواجه کرده است. از آنجا که میزان عناصر کمپوست حتی کمتر از اکثر کودهای دامی است (جدول ۹-۱۶)، و فاصله منبع این مواد تا مزارعی که باید در آنها به عنوان اصلاح کننده مصرف گردند زیاد است، کمپوست (ز، ج، ش) با توجه به هزینه حمل و نقل بیشتر در معرض محدودیت اقتصادی می باشد. از طرف دیگر، شهرداری ها مجبورند که این مواد را به صورتی دفع کنند. هزینه حمل و نقل کمپوست (ز، ج، ش) برای مصرف در اراضی از نظر اقتصادی قابل رقابت با گزینه های دیگر دفع زباله می باشد، همانند کود دامی، در بعضی مناطق شیوه ای برای تولید محصول مطلوب برای فروش به طراحان چشم انداز و اصلاح کنندگان خاک و یا محیط کشت به وجود آمده است.

ضایعات صنایع غذایی

استفاده از ضایعات کارخانه های صنایع غذایی در موارد خاصی انجام شده است، اما این عملیات تقریباً به طور کامل در ارتباط با کاهش آلودگی بوده و به تولید محصولات زراعی توجهی نداشته است. ضایعات آبکی معمولاً به صورت آبیاری بارانی در گندمیان علفی دائمی مورد استفاده قرار می گیرند. برنامه های فراوری کارخانه زمان و مقدار استعمال را به ما تحمیل می کند، که ممکن است برای تولید بهینه ی محصولات زراعی مناسب نباشد.

خاک اره

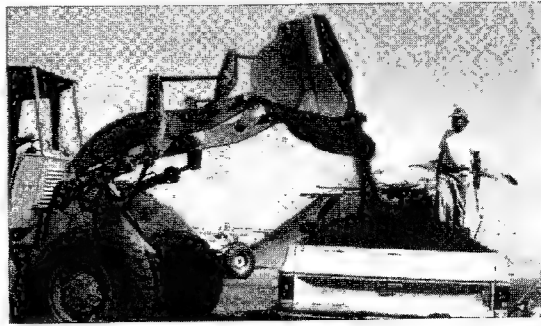
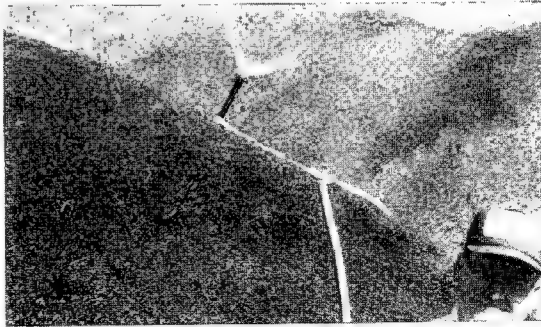
خاک اره با قطعات چوب و رشته های پوست درخت در صنایع الوار و چوب از مدت ها قبل به عنوان منبع مواد اصلاح کننده ی خاک و خاک پوش به خصوص برای باغچه های خانگی و چشم اندازهای طبیعی، مصرف داشته است. این ضایعات از نظر لیگنین و مواد مربوطه غنی بوده و دارای نسبت C/N بسیار بالایی می باشند که با کندی فراوان که خصوصیت مناسبی برای خاک پوش ها می باشند تجزیه می گردند، گرچه آنها به آسانی عناصر غذایی را تأمین نمی کنند. در واقع، خاک اره مخلوط شده با خاک برای بهبود خصوصیات فیزیکی ممکن است باعث شود که گیاهان با کمبود نیتروژن روبرو گردند، مگر منبع اضافی نیتروژن همراه با خاک اره مصرف شود.

بازچرخ به وسیله ی کمپوست کردن

دفع کوه ها زباله ی آلی شهری و خانگی، با تمام عناصر غذایی موجود در آنها، یک چالش زیست محیطی است. در گذشته اکثر این ضایعات در آمریکا راه خود را به داخل هزاران چاله ی دفع زباله پیدا نمودند. تعداد نقاط دفع زباله در ۲۰ سال گذشته ۷۵ درصد کاهش یافته، و پیامدهای زیست محیطی انباشتن مواد آلی در این مناطق بیشتر روشن شده است؛ بنابراین، سایر گزینه های غیر متمرکز مدیریت این مواد آلی مورد تفکر قرار گرفته است.

¹- Municipal Solid Waste (MSW)

در میان گزینه‌هایی که به‌طور بسیار گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته، عملیات کمپوست کردن است که ضایعات خانگی، باغی و حتی صنعتی را در یک نظام مدیریتی فعال تلفیق نموده است. شاخه‌های درختان هرس شده، ضایعات غذایی، آشغال فروشگاه‌های مواد خوراکی و کاغذ در کپه‌های کمپوست موادی مانند خاک اره، کود دامی و بعضی فضولات صنعتی تلفیق می‌شوند. وقتی رطوبت مناسب تأمین گردد، تجزیه صورت گرفته در طول زمان مواد کمپوست شده که رشد گیاه را سبب خواهد شد برای بازچرخ مجدد در اراضی آماده خواهند بود. (بخش ۵-۱۲ را مطالعه کنید). مناطقی که کمپوست‌سازی آن‌جا انجام می‌گیرد ممکن است شامل عملیات کوچک و بزرگی باشد که به‌وسیله‌ی گروه‌ها، بنگاه‌های کوچک و یا حتی افراد انجام شود (شکل ۱۵-۱۶). تعداد این امکانات در بین سال‌های ۱۹۸۹ و ۱۹۹۶ بیش از ۴ برابر افزایش یافته است.



شکل ۱۵-۱۶ تجهیزات کمپوست کردن در شهر فی‌نیکس اریزونا که ماده‌ی آلی برای استفاده زمین‌نمای شهری تولید می‌کند. (قسمت بالا چپ) زباله‌های کشتارگاه‌ها، قطعات چوب مزارع، خاک اره، کود دامی و خاک لوم شنی به‌صورت یک کپه با همدیگر مخلوط می‌شوند. (بالا راست) نظام آبیاری بارانی سبب مرطوب نگاه داشتن کپه‌ها و تسریع فعالیت میکروبی می‌شود. (پایین چپ) کپه‌ها از یک ردیف به ردیف دیگر جابه‌جا شده و بنابراین، سبب مخلوط شدن هرچه بیشتر اجزای و تضمین تهویه بهتر می‌گردد. این فرایند باعث می‌شود که دما در قسمت داخلی کپه‌ها به 80°C - 60°C برسد. بعد از ۸-۶ هفته فعالیت میکروبی فروکش کرده و دما دیگر بالا نمی‌رود. (پایین راست) مواد کمپوست شده اکنون برای انتقال به منازل و سایر تأسیسات شهری آماده است تا در آن‌جا برای ایجاد باغچه‌ها و بوستان‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

۸-۱۶ پساب‌ها و لجن فاضلاب

عمل آوری فاضلاب طی قرن گذشته در پاسخ به خواسته‌های جامعه و مقررات تدوین شده برای جلوگیری از آلودگی رودخانه‌ها و اقیانوس‌ها بر اثر عوامل بیماری‌زا، مواد آلی نیازمند اکسیژن و غنی‌سازی آن‌ها به‌وسیله‌ی عناصر غذایی دچار تحول گردیده است. تلاش‌های شدیدتر برای پاک کردن فاضلاب قبل از برگشت آن به آب‌های طبیعی دارای دو پیامد اساسی می‌باشد. (۱) مقدار مواد جدا شده در فاضلاب در فرایند عمل آوری آن به‌طور سرسام‌آوری افزایش یافته است. این مواد که لجن فاضلاب و یا مواد جامد^۱ زیستی نامیده می‌شوند باید به‌طور سالم نیز توزیع گردند (۲) هدف عمل آوری پیشرفته‌ی فاضلاب، جداسازی عناصر غذایی (عمدتاً فسفر، نیتروژن نیز در حال افزایش است) از مایع رویی فاضلاب^۲ (پساب عمل آمده که به رودخانه باز می‌گردد) می‌باشد، کاری است که به‌طور سالم و اقتصادی با ایجاد برهم‌کنش پساب نسبتاً عمل آمده با نظام خاک و ثبات صورت می‌گیرد. بنابراین، توجه به استفاده از خاک‌ها برای مسأله‌ی فاضلاب به دو

^۱-Sludge or biosolids

^۲-effluent

طریق زیر رو به افزایش است (۱) به عنوان یک نظام هضم کننده، بازچرخ کننده و دفع کننده لجن فاضلاب (۲) وسیله ای برای حذف و برداشت نهایی عناصر غذایی و مواد آلی موجود در مایع فاضلاب.



شکل ۱۶-۱۶ اصلاح نهایی مایع فاضلاب و تغذیه آب زیرزمینی به وسیله فرایندهای طبیعی خاک و گیاه در این جنگل آبیاری شده با مایع فاضلاب در خاکهای التی سول در نزدیک اتلانتا در ایالت جرجیا انجام می گیرد. جریان عناصر غذایی، کیفیت آب زیرزمینی و رشد درخت با دقت نظارت می شود. بخشی از تولیدات فراوان چوب به عنوان منبع انرژی در راه اندازی نیروگاه تصفیه فاضلاب به کار می رود.

مایع فاضلاب (پساب)

پساب فاضلاب ده ها سال است که در اروپا و مناطق خاصی از آمریکا در اراضی مورد استفاده قرار می گیرد. بعضی از شهرها دارای مزارع فاضلاب مربوط به خود می باشند که بر روی آن ها محصولات زراعی مخصوصاً علوفه و غذای دامی برای جبران بعضی از هزینه های دفع فاضلاب تولید می شود. شهر موسگاجن، در ایالت میشیگان^۱ آمریکا همانند پاریس در کشور فرانسه، ده ها سال است که این مزارع را اداره می کند. ممکن است مایع فاضلاب درآینده به عنوان منبع ماده ای آلی، عناصر غذایی و آب برای تولید محصولات اهمیت بیشتری پیدا کند. یکی از راه های بسیار سودمند استفاده از پساب غنی از عناصر غذایی، آبیاری اراضی جنگلی با آن ها می باشد (شکل ۱۶-۱۶). این روش پیشرفتهی مصرف فاضلاب به وسیله تعدادی از شهرها در سراسر جهان مورد استفاده قرار گرفته است، آبیاری جنگل ها یک روش باصرفه است که حاصل نهایی آن پاک کردن پساب بوده و رشد درختان می تواند به عنوان پاداش اضافی تلقی گردد. میزان تولید چوب بر اثر اضافه شدن آب اضافی و فزونی عناصر غذایی تأمین شده به مقدار زیادی افزایش می یابد.

در یک نظام آبیاری دقیق طراحی و نظارت شدهی پساب، ترکیب فرایندهای: (۱) جذب عناصر به وسیله درختان (۲) جذب اجزای آلی و معدنی به وسیله کلویدهای خاک (۳) تجزیه ی ترکیبات آلی به وسیله ریزجانداران خاک، نهایتاً سبب تمیز شدن پساب می شود. فرونشست آب تمیز شده سبب جایگزینی و تأمین آب زیرزمینی می گردد.

لجن فاضلاب^۲

لجن فاضلاب (بعضی مواقع مواد جامد زیستی نامیده می شود)، عبارت از محصول فرعی جامد تأسیسات عمل آوری فاضلاب شهری و یا صنعتی می باشد (شکل ۱۷-۱۶). این ماده ده ها سال است که در اراضی مصرف می شود و به نظر می رسد استفاده از آن در آینده افزایش یابد. محصول میل ارگانیت^۳، لجن فاضلاب خشک شده است که به وسیله کمیسیون فاضلاب های میلواکی^۴ به فروش رسیده و به طور

^۱ - Muskegon, Michigan

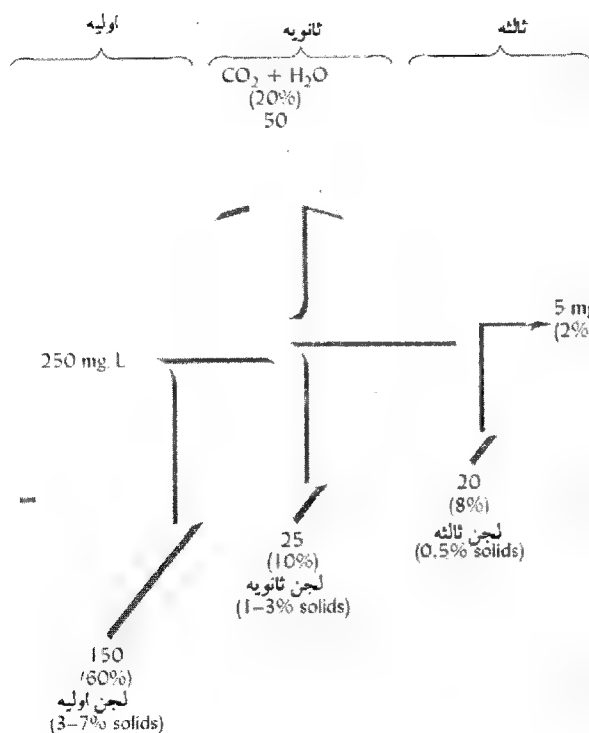
^۲ - Sewage sludge

^۳ - Milorganite

^۴ - Milwaukee Sewerage Commission

گسترده در آمریکای شمالی از سال ۱۹۲۷ به‌خصوص بر روی چمن بازی گلف، مورد استفاده می‌باشد. شهرهای متعدد دیگر بازار محصولات کمپوست‌شده لجن فاضلاب را برای مصرف در چشم‌اندازها و سایر استفاده‌های اختصاصی در دست دارند. هرچند حجم بزرگی از لجن فاضلاب مصرف‌شده در روی اراضی به‌صورت کود آبیکی و ذرات خشک‌شده می‌باشد، ذرات خشک‌شده با ۴۰ تا ۷۰ درصد آب هزینه حمل و نقل کمتری دارد در صورتی که مایع فاضلاب حاوی ۸۰ تا ۹۰ درصد آب می‌باشد. خشک کردن و فراوری بیشتر سبب کاهش هزینه حمل و نقل می‌گردد که خود یک نکته قابل ملاحظه است، زیرا شهرهای بزرگ در پیدا کردن زمین خیلی نزدیک برای دریافت مواد جامد زیستی (لجن فاضلاب) خود مشکل دارند. یک طرح روزانه بیشتر از ۶۰۰۰۰۰ کیلوگرم لجن فاضلاب فراوری شده را به‌وسیله ترن از شهر نیویورک به تگزاس غربی در فاصله ۲۰۰۰ کیلومتر برای حفظ حاصلخیزی ۷۰۰۰ هکتار اراضی تخریب‌یافته مرتعی ارسال می‌دارد. ترکیب لجن فاضلاب: همان‌طور که انتظار می‌رود، ترکیب لجن فاضلاب از یک ایستگاه فراوری فاضلاب به ایستگاه دیگر بسته به سرشت و نوع فراوری که فاضلاب دریافت می‌دارد، به‌خصوص میزان هضم شدن مواد آلی متفاوت می‌باشد. مقادیر شاخص برای عناصر غذایی در جدول ۹-۱۶ داده شده است. همانند کود دامی و سایر محصولات زاید آلی، لجن فاضلاب سبب تأمین عناصر کم‌مصرف و همین‌طور عناصر پرمصرف غذایی می‌گردد. میزان عناصر غذایی کم‌مصرف فلزی (روی، مس، آهن، منگنز، نیکل) و سایر فلزات سنگین (کادمیم، کرم، سرب و غیره) عمدتاً به‌وسیله درجه مخلوط شدن ضایعات صنعتی با ضایعات خانگی مشخص می‌شود. در آمریکا، میزان فلزات در فاضلاب‌ها به‌خاطر برنامه‌های کاهش آلودگی منطقه‌ای منابع، که نیازمند امکانات صنعتی برای حذف آلودگی قبل از ارسال فاضلاب به ایستگاه‌های فراوری می‌باشد. امروزه از سابق بسیار کمتر است (بخش ۸-۱۸ را مشاهده کنید).

در مقایسه با کودهای شیمیایی معدنی، لجن فاضلاب معمولاً از نظر عناصر غذایی، به‌خصوص پتاسیم فقیر بوده و مقادیر شاخص نیتروژن، فسفر و پتاسیم به ترتیب ۲، ۴ و ۰/۴ درصد می‌باشد (جدول ۹-۱۶). غلظت پتاسیم در لجن فاضلاب نسبتاً پایین است، زیرا اکثر پتاسیم موجود در فاضلاب به‌صورت محلول بوده و در مایع فاضلاب باقی می‌ماند. میزان فسفر بالاتر است. زیرا فراوری پیشرفته فاضلاب برای جداسازی فسفر از مایع فاضلاب و ترسیب آن در لجن فاضلاب، منظور می‌شود (تابلو ۲-۱۴ را مطالعه کنید). اگر فراوری سبب ترسیب فسفر، طی واکنش‌هایی با ترکیبات آهن و آلومینیوم گردد، فسفر موجود در لجن فاضلاب احتمالاً دارای قابلیت استفاده پایینی برای نباتات خواهد بود.



شکل ۱۶-۱۷ نمودار نشان‌دهنده جداسازی مواد معلق جامد. تیمار اولیه امکان جداسازی اکثر جامدات را از فاضلاب خام فراهم می‌سازد. تیمار ثانویه سبب اکسایش بیشتر ماده‌ی آلی و جداسازی بیشتر مواد جامد می‌شود. تیمار ثالثه معمولاً شامل استفاده از ترکیبات کلنسیم و آلومینیوم و آهن برای جداسازی فسفر از پساب است.

۹-۱۶ استفاده عملی از منابع غذایی آلی

در بخش ۷-۱۲ بیان نمودیم که اصلاح خاک با اضافه کردن مواد آلی قابل تجزیه مانند کود دامی و لجن فاضلاب دارای اثرات بسیار مفیدی بر روی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک خواهد بود. در این جا ما توجه خود را به جنبه‌های مدیریت عناصر غذایی در استفاده از ضایعات آلی، چه مواد لجن فاضلاب، چه کود دامی و چه کمپوست زباله‌های جامد شهری معطوف می‌داریم. چند اصل کلی که در استعمال درست مواد در خاک از نظر بوم‌شناختی صادق می‌باشند عبارتند از:

(۱) مقدار استعمال معمولاً تحت سیطره‌ی مقدار نیتروژن است که مواد آلی آنرا برای گیاهان قابل استفاده می‌سازند. این اولین معیار است، زیرا نیتروژن در مقادیر زیاد مورد نیاز اکثر نباتات می‌باشد. زیادی نیتروژن می‌تواند مسایل آلودگی را به وجود آورد (بخش ۸-۱۳ را مطالعه کنید). هر چند باید اشاره داشت که نسبت P/N در اکثر منابع آلی از بافت‌های گیاهی بالاتر است. بنابراین، اگر مواد آلی مقدار نیتروژن کافی را برای رفع نیازهای نبات تأمین کنند، سبب ایجاد سطوح بالای فسفر خواهند شد که در استفاده‌ی درازمدت باید در نظر گرفته شود (بخش ۲-۱۴ را مطالعه کنید). توان سمیت عناصر سنگین فلزی در بعضی مواد آلی ممکن است میزان استعمال آن را دچار محدودیت کند (بخش ۸-۱۸ را مطالعه کنید).

(۲) بیشتر نیتروژن در منابع آلی، همانند اکثر کودهای شیمیایی، بلافاصله قابل استفاده نبات نبوده و ممکن است بخش کوچکی از نیتروژن در کود دامی و یا لجن فاضلاب در اشکال محلول (آمونیم) بلافاصله قابل استفاده نبات باشد (بخش ۱۱-۱۶ را مطالعه کنید). اما اکثر نیتروژن باید بر اثر معدنی شدن میکروبی ترکیبات آلی آزاد گردد. جدول ۱۱-۱۶ درصد نیتروژن آلی را که احتمالاً در اولین، دومین و سومین سال بعد از استعمال کود آزاد می‌شود ارائه نموده است. توجه کنید موادی که در طول فراوری و مدیریت به طور نسبی تجزیه شده‌اند (مثل کمپوست‌ها و لجن هضم شده) درصد پایین‌تری نیتروژن را آزاد می‌کنند. میزان آزاد شدن سایر عناصر غذایی کمتر بحرانی می‌باشد، زیرا قابلیت استفاده‌ی آن‌ها در منابع آلی اغلب قابل مقایسه (حتی در مورد عناصر کم مصرف بالاتر) با کودهای شیمیایی می‌باشد.

(۳) اگر مزرعه‌ای هر سال به وسیله‌ی یک ماده‌ی آلی مورد تیمار قرار گیرد، میزان ماده‌ی آلی مورد نیاز به طور مرتب کاهش می‌یابد، زیرا بعد از سال اول میزان نیتروژن آزاد شده از ماده‌ی آلی مصرف شده در سال قبل باید از کل مواد تازه‌ی مورد مصرف کسر گردد (تابلو شماره ۱-۱۶ را تحت عنوان محاسبات برای تعیین میزان نیتروژن آلی مشاهده کنید).

(۴) میزان عناصر غذایی و رطوبت مواد اصلاح کننده آلی به طور گسترده‌ای در بین منابع مختلف و حتی در یک بسته از مواد اصلاح کننده با بسته دیگر، از همان نوع متفاوت می‌باشد، بنابراین، به ارقام کلی مانند ارقام جدول ۹-۱۶ نباید برای محاسبه میزان مصرف متکی بود. در عوض، نمونه‌های مورد مصرف از مواد باید در آزمایشگاه تجزیه گردد. انجام تجزیه بر طبق قوانین حاکم بر تنظیم استعمال لجن فاضلاب در اراضی لازم می‌باشد اما سایر مواد خیلی زیاد تحت مقررات قرار نگرفته‌اند.

(۵) در صورت مصرف عناصر غذایی موجود در منابع آلی در مزارعی که از نظر نیتروژن و فسفر نسبتاً فقیر می‌باشند بالاترین درآمد و حداقل خسارات زیست محیطی حاصل خواهد شد. متأسفانه هزینه حمل و نقل و راحت طلبی متأسفانه مشوق مصرف مواد آلی در اراضی نزدیک به منبع گردیده و اغلب منجر به عدم تعادل عناصر غذایی می‌شوند که در بخش ۵-۱۶ تشریح گردید.

جدول ۱۱-۱۶ میزان آزاد شدن نیتروژن معدنی از منابع مختلف نیتروژن آلی مصرف شده در خاک‌ها.

ارقام ارائه شده عبارتند از درصد نیتروژن آلی موجود در مواد اصلی. برای مثال، اگر ۱۰ مگاگرم کود مرغی ابتدا دارای ۳۰۰ کیلوگرم (۳٪) نیتروژن در شکل آلی باشد ۵۰ درصد از این نیتروژن (۱۵۰ کیلوگرم) در سال اول معدنی خواهد شد، ۱۵ درصد دیگر (۴۵ کیلو) در سال دوم آزاد خواهد شد. این ارقام تقریبی بوده و باید در اقلیم گرم‌تر و خاک‌های شنی افزایش یابند.

منبع نیتروژن آلی	سال اول	سال دوم	سال سوم	سال چهارم
کود مرغی (آشغال کف)	۵۰	۱۵	۸	۳
کود گاوی (شیره) جامد تازه	۳۵	۱۸	۹	۴
کود خوک (مایع غیرهوازی)	۵۰	۱۵	۸	۳
لجن فاضلاب هضم شده هوازی (تثبیت شده با آهک)	۴۰	۱۲	۵	۲
لجن فاضلاب هضم شده غیرهوازی	۲۰	۸	۴	۱
لجن فاضلاب کمپوست شده	۱۰	۵	۳	۲
لجن فاضلاب فعال تثبیت نشده	۴۵	۱۵	۴	۲

تابلو ۱۶-۱ محاسبه‌ی میزان ماده‌ی آلی برای تأمین نیتروژن یک زراعت

این مثال بر این اصل استوار است که میزان نیتروژن قابل استفاده در هر سال باید تأمین گردد و نباید از آن مقدار که گیاهان می‌توانند برای رشد بهینه مصرف کنند، بیشتر شود. بنابراین، نرخ آزاد شدن نیتروژن قابل استفاده معمولاً تعیین‌کننده‌ی میزان استعمال کود دامی، لجن فاضلاب و یا سایر منابع عناصر غذایی می‌باشد. مثال مزرعه‌ای است که ذرت ردیفی در دو سال متوالی تولید می‌کند. هدف، تولید ۷۰۰۰ کیلوگرم دانه ذرت در هکتار در سال است. این میزان عملکرد معمولاً نیازمند مصرف ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن قابل استفاده در هکتار می‌باشد که انتظار می‌رود از یک لجن فاضلاب تثبیت‌شده به‌وسیله‌ی آهک تأمین گردد که دارای ۴/۵ درصد نیتروژن کل و ۰/۲ درصد نیتروژن معدنی می‌باشد (آمونیم و نترات). میزان رطوبت این لجن ۷۵ درصد است.

سال اول

محاسبه مقدار لجن مورد استعمال :

درصد نیتروژن آلی در لجن مساوی است با

$$\frac{4}{3} = \frac{0.2}{5} - \frac{4}{5} = \text{درصد نیتروژن معدنی} - \text{درصد}$$

نیتروژن کل

میزان نیتروژن آلی در یک مگاگرم لجن برحسب کیلوگرم

میزان نیتروژن معدنی در یک کیلوگرم لجن برحسب کیلوگرم

نرخ معدنی شدن لجن فاضلاب تثبیت‌شده در سال اول (جدول ۱۱-۱۶) ۴۰ درصد نیتروژن آلی می‌باشد.

نیتروژن قابل استفاده از یک مگاگرم لجن فاضلاب در اثر معدنی شدن در سال اول برحسب کیلوگرم

نیتروژن کل قابل استفاده از یک مگاگرم لجن فاضلاب برحسب کیلوگرم

میزان لجن خشک مورد نیاز بر حسب مگاگرم

میزان لجن مورد مصرف با ۷۵ درصد رطوبت و ۲۵ درصد ماده‌ی خشک برحسب مگاگرم

سال دوم

میزان نیتروژن معدنی شده در سال دوم در اثر مصرف لجن در سال اول (جدول ۱۱-۱۶) ۱۲ درصد نیتروژن آلی می‌باشد.

نیتروژن معدنی شده از ۶/۲۵ تن لجن مصرف‌شده سال اول برای زراعت سال دوم، کیلوگرم

میزان نیتروژن کسری مورد نیاز برای زراعت بعد از مصرف لجن در سال دوم، کیلوگرم

میزان لجن خشک مورد نیاز بر حسب مگاگرم

میزان لجن مورد مصرف با ۷۵ درصد رطوبت و ۲۵ درصد ماده‌ی خشک برحسب مگاگرم

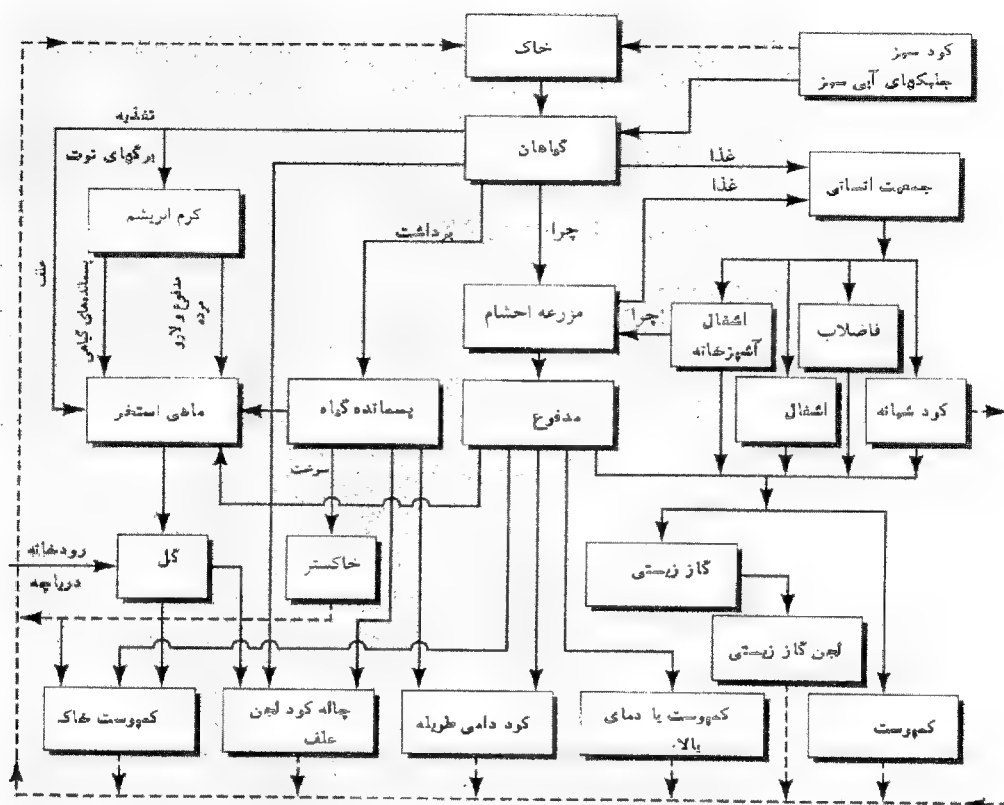
توجه داشته باشید که مصرف ۱۰/۸۲ مگاگرم لجن خشک (۴/۵۷ + ۶/۲۵) سبب عرضه مقدار زیادی فسفر خواهد شد که با فرض ۲ درصد برای فسفر (طبق جدول ۱۱-۱۶) این مقدار ۲۱۶/۵ کیلوگرم خواهد شد که به مراتب از فسفر مورد نیاز گیاه در دو سال بیشتر گردیده و سبب تجمع فسفر خواهد شد.

مصارف خاص: استفاده‌های خاصی از منابع عناصر غذایی آلی به عمل می‌آید که در آن‌ها اجزای ماده‌ی آلی نقش ویژه ایفا می‌کنند. این موارد عبارتند از استعمال مواد مزبور در خاک‌هایی که افق سطحی آن‌ها بر اثر فرسایش، یا تسطیح اراضی برای آبیاری، و یا عملیات معدن‌کاوی از بین رفته است. ممکن است بهبود ظرفیت نگهداری آب و ساختمان خاک، که بر اثر مصرف مواد آلی حاصل می‌شود، همان اهمیت را که اشکال مختلف پسماندهای آلی در تأمین عناصر غذایی در طولانی مدت، و با تأثیری دارند، داشته باشد. مصرف اولیه ۵۰ تا ۱۰۰ مگاگرم در هکتار ممکن است در مناطق مسأله‌دار اعمال گردد. این مقادیر ممکن است از نظر تأمین ماده‌ی آلی، و همین‌طور عناصر غذایی، قابل توجیه بوده اما به شرط آن‌که چنان از نظر نیتروژن بالا نباشد که توان آیشویی نترات را ایجاد کند. موارد خاص کمبود عناصر کم مصرف می‌تواند با استفاده از کود دامی اصلاح گردد. کاربرد این روش معمولاً برای موادی است که از وجود کمبود در عنصر خاصی مطمئن نیستیم. استعمال کود دامی می‌تواند بدون کوچک‌ترین توجه به افزودن مقادیر سمی عناصر کم مصرف انجام شود.

۱۶-۱۰ باز چرخ تلفیقی ضایعات

در اکثر کشورهای صنعتی باز چرخ گسترده‌ی ضایعات آلی به‌غیر از کود دامی پدیده‌ای نسبتاً جدید است، هر چند در مناطق پرجمعیت آسیا، و به‌خصوص در چین و ژاپن، این باز چرخ مدت‌هاست که انجام می‌شود. شکل ۱۸-۱۶ راه‌های بسیاری را که ضایعات آلی در چین مصرف می‌شود تشریح می‌کند. کشاورزی فقط یکی از دریافت‌کنندگان این ضایعات می‌باشد. بخش بیشتر ضایعات برای تولید گاز زیستی، غذا برای ماهی، منبع تأمین گرما از کپه‌های کمپوست برای گرم کردن منازل و گلخانه‌ها و آب خانگی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مهم‌تر

آنکه عناصر غذایی گیاهی و ماده‌ی آلی در بازچرخ قرار گرفته و برای استفاده آتی نبات به خاک بر می‌گردند. به نظر می‌رسد این حفاظت منابع که به طور گسترده‌تر در آینده به‌وسیله‌ی سایر کشورها از جمله ایالات متحده‌ی آمریکا، انجام شود



شکل ۱۸-۱۶ بازچرخ ضایعات آلی و عناصر غذایی در کشور چین. به میزانی که خاک در فرایند بازچرخ قرار می‌گیرد توجه کنید.

۱۱-۱۶ کودهای غیرآلی شیمیایی

مصرف کودهای شیمیایی در طول نیمه‌ی دوم قرن بیستم به طور سرسام‌آوری درمقیاس جهانی افزایش یافت (شکل ۱۹-۱۶)، که بخش عمده‌ی افزایش تولید بسیار زیاد در همین مدت مربوط به آن است. حاصلخیزی خاک بهبود یافته با مصرف عناصر غذایی یک عامل اساسی است که جهان را قادر می‌سازد میلیاردها نفر را که هرسال به جمعیت آن اضافه می‌شود تغذیه کند (بخش ۳-۲۰ را مطالعه کنید).

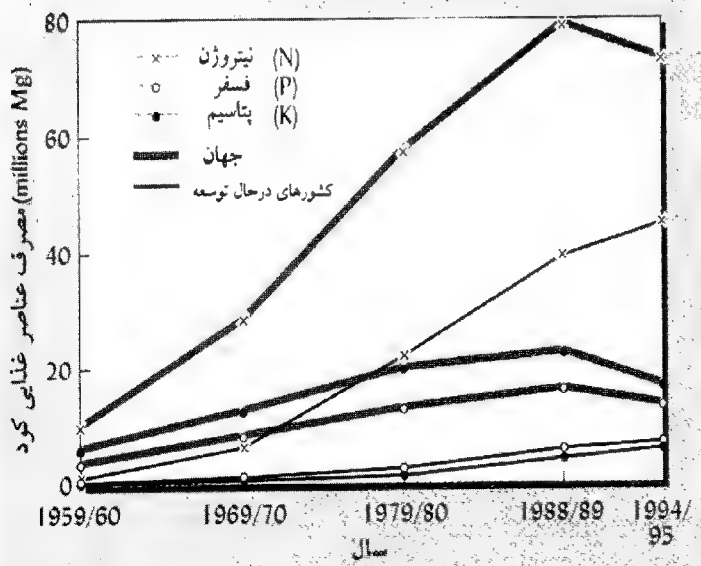
نیاز به ترمیم حاصلخیزی خاک‌های جنگلی با توجه به افزایش تقاضا برای محصولات جنگلی و در نتیجه بالارفتن برداشت عناصر غذایی و رقابت برای استفاده از اراضی و باقی‌ماندن جنگل در اراضی کمتر حاصلخیز و حاشیه‌ای درحال افزایش است. بیشتر مصرف کود درحال حاضر در جنگل در خزانه کشت درختان و درختان بذری انجام می‌گیرد که در آن‌ها مزایای کوددادن، نسبتاً کوتاه‌مدت و پرازش بوده و مراحل استعمال کود همانند درختان جنگلی چندان گسترده، مشکل و پرهزینه نمی‌باشد. در مناطق گرم‌تر و مرطوب‌تر ژاپن^۱، حدود ۵۰٪ کشت‌های جنگل، جدید کود داده می‌شوند. کوددادن جنگل در جنوب شرقی آمریکا و ممالک اسکاندیناوی و استرالیا درحال افزایش است.

مصرف منطقه‌ای کودهای شیمیایی

آمار کودهای شیمیایی در مقیاس جهانی نمایی از نقش کودهای شیمیایی در حفظ تعادل جهانی بین نهاده‌ها و ستانده‌های کودی ارائه می‌دهد. اما مصرف اختصاصی‌تر کود در سطح منطقه مشخص می‌سازد که مصرف کود سبب ارتقای کیفیت خاک و یا تخریب محیط می‌گردد. برای نمونه در اروپا و آسیای شرقی که رطوبت زیاد بوده و کشاورزی پرنهاده معمول است، میزان مصرف عناصر غذایی کودهای

¹ - در ژاپن آب و هوا که برای رشد گونه‌های الوار پرارزش مانند ساگی *Cryptomeria japonica* و بلوط *Quercus acutissima* مساعد است تنه‌های درختان برای پرورش قارچ Shiitake مورد استفاده است.

شیمیایی تقریباً سه برابر متوسط جهانی است. در کشور هلند میزان نیتروژن اضافه شده به خاک از کودهای شیمیایی و کود دامی ۴ برابر میزان برداشت این ماده در گیاهان درو شده است. برعکس در آفریقای جنوب صحرای بزرگ به معنی کلمه تخلیه شده و میزان عناصر غذایی که از تمام منابع به خاک اضافه می‌شود بسیار کمتر از آن است که در گیاهان برداشت می‌شود. میزان عناصر غذایی مصرف‌شده در کود در این منطقه فقط ۱۰ درصد متوسط جهانی است. بنابراین، واضح است که ما برای ارزیابی نقش کودها در تحقق اهداف انسانی و زیست‌محیطی باید تا آن‌جا که مقدور است مطالعات خاص منطقه‌ای انجام دهیم.



شکل ۱۹-۱۶ مصرف کود شیمیایی در کشورهای در حال توسعه و در مقیاس جهانی از ۱۹۵۹-۶۰ تا ۱۹۹۵-۹۶ براساس عناصر غذایی اصلی. به مصرف خیلی بالای نیتروژن در مقایسه با دو عنصر دیگر توجه کنید. مصرف جهانی کود در دهه ۹۰ عمدتاً به‌خاطر کاهش شدید مصرف در کشورهای اتحاد جماهیر شوروی، و بعضی محدودیت‌ها در کشورهای صنعتی به‌طور عمده کاهش یافت، اما افزایش مصرف کود در کشورهای در حال توسعه ادامه یافت، گرچه برداشت عناصر غذایی در محصولات به مراتب بیشتر از برگشت عناصر به خاک در اکثر این کشورها بوده است.

منشاء و فراوری کودهای غیرآلی

اکثر کودها نمک‌های غیرآلی بوده که شامل عناصر غذایی با قابلیت استفاده‌ی آسان به‌وسیله‌ی گیاه می‌باشد. بعضی از این کودها در کارخانه‌ها ساخته می‌شوند اما بعضی دیگر مانند فسفر و پتاسیم در نهشته‌های زمین‌شناختی طبیعی یافت می‌گردند. لایه‌های نمک‌های جامد^۱ که در عمق بسیار زیادی از سطح زمین قرار گرفته‌اند منابع اولیه پتاسیم می‌باشند. این رسوبات زیر زمین در بسیاری از مناطق از جمله کانادا، فرانسه، آلمان و روسیه، و همین‌طور نیومکزیکو یافت می‌شوند. نمک‌ها از معدن استخراج و تصفیه شده و محصولاتی مانند کلروپتاسیم و سولفات پتاسیم از آنها تولید می‌شوند.

آپاتیت که در سنگ رسوبی فسفات یافت می‌شود منبع اولیه کود فسفره می‌باشد. از آن‌جا که آپاتیت فوق‌العاده غیرمحلول است، در واکنش با اسید سولفوریک و فسفریک و یا نیتریک برای تولید موادی مانند سوپرفسفات ترپیل برای ارائه فسفر در اشکال دارای قابلیت استفاده آسان قرار می‌گیرد. سنگ‌های رسوبی فسفره در سراسر جهان وجود دارند که بیشترین آن‌ها در فلوریدا، کارولینای شمالی، تنسی و چندین ایالت غربی آمریکا قرار گرفته‌اند.

نیتروژن موجود در نیوار منبع اصلی اولیه این عنصر اساسی است، تحت دما و فشارهای بسیار بالا، نیتروژن نیوار تثبیت و با هیدروژن تولید گاز آمونیاک می‌کند. هرچند این تثبیت دارای اهمیت حیاتی است اما همان‌طور که مورد انتقاد قرار گرفته انرژی فوق‌العاده زیادی را مصرف می‌کند. هنگامی که گاز آمونیاک تحت فشار متوسط قرار می‌گیرد، مایع شده و آمونیاک مایع^۲ را تولید می‌کند. به‌خاطر قیمت پایین و سهولت استعمال، نیتروژن بیشتری از آمونیاک مایع در مقایسه با سایر کودهای نیتروژنی مستقیماً به خاک اضافه می‌شود (جدول ۱۲-۱۶). مهم‌تر آن که آمونیاک نقطه‌ی آغاز ساخت اکثر کودهای شیمیایی نیتروژنی مانند اوره، نترات آمونیوم، سولفات آمونیوم، نترات سدیم و مخلوط‌های مایع که محلول‌های نیتروژن نامیده شده‌اند می‌باشد. تجاری‌کردن فرایند تثبیت نیتروژن چرخه نیتروژن را دچار تحول کرده است، متأسفانه، قیمت پایین این عنصر غذایی و تنوع موادی که می‌تواند به‌وسیله‌ی آن‌ها عرضه گردد سبب مصرف آن بیش از نیاز گیاهان شده است.

^۱ - Beds of solid salts

^۲ - Anhydrous ammonia

بسیاری از کودهای تجاری شامل دو نوع عناصر غذایی اساسی یا بیشتر می‌باشند. در بعضی موارد، از مخلوطی از کودهای شیمیایی حاوی عناصر غذایی استفاده می‌شود، اما در بعضی دیگر، یک ترکیب کودی ممکن است دو عنصر غذایی را شامل باشد. منوآمونیم فسفات، دی‌آمونیم فسفات و نترات پتاسیم، نمونه‌هایی از این کودها می‌باشند. در حال در انتخاب ترکیب کودهای شیمیایی باید دقت به عمل آورد، زیرا بعضی از ترکیبات با دیگر ترکیبات دارای سازگاری نبوده سبب ایجاد شرایط فیزیکی نامناسب و کاهش قابلیت استفاده عناصر در مخلوط کودی می‌شوند.

جدول ۱۲-۱۶ مصرف کود شیمیایی در ایالات متحده آمریکا. عمده کودهای مصرف شده در آمریکا در پایان ژوئن ۱۹۹۶ و مقدار عناصر غذایی که تولید می‌کنند. توجه کنید اکثر نیتروژن و پتاسیم در کودهای شیمیایی تک عنصری ارائه شده در حالی که اکثر کودهای فسفره نیتروژن را نیز تأمین می‌کنند.

عناصر غذایی ارائه شده ۱۰۰۰ مگاگرم			کود شیمیایی
نیتروژن	فسفر	پتاسیم	
کودهای حاوی نیتروژن			
۳۵۹۳	-	-	آمونیاک مایع NH_3
۲۵۶۵	-	-	محلول‌های نیتروژن (UAN) ^۱
۱۶۲۵	-	-	اوره $CO(NH_2)_2$
۶۴۶	-	-	نترات آمونیوم NH_4NO_3
۲۰۰	-	-	سولفات آمونیوم $(NH_4)_2SO_4$
کودهای حاوی فسفر			
۶۰۳	۶۲۸	-	دی‌آمونیم فسفات (۰-۴۶-۱۸)
۱۲۴	۲۴۲	-	منوآمونیم فسفات (۰-۵۳-۱۱)
۱۰۰	۱۳۹	-	آمونیم پلی فسفات (۰-۳۴-۱۰)
-	۸۳	-	سوپر فسفات تریپل -
کودهای حاوی پتاسیم			
-	-	۲۴۷۸	کلور پتاسیم
-	-	۵۴	سولفات پتاسیم
کودهای مخلوط			
۳۲	۱۴	۲۷	۱۹-۱۹-۱۹
۲۹	۱۳	۲۴	۱۰-۱۰-۱۰
۲۹	۱۲	۲۴	۱۳-۱۳-۱۳
۲۷	۱۵	-	۱۶-۲۰-۰
۱۳	۱۲	۲۲	۱۰-۲۰-۲۰

خصوصیات و استفاده از کودهای شیمیایی

ترکیب کودهای شیمیایی غیر آلی بسیار دقیق‌تر از مواد آلی مورد بحث در صفحات قبل می‌باشد. جدول ۱۳-۱۶ میزان عناصر و سایر خصوصیات بعضی از کودهای رایج را درج کرده است. در اکثر موارد کودهای شیمیایی برای تأمین عناصر پرمصرف نیتروژن، فسفر و یا

^۱ - Urea Amonium Nitrate

پتاسیم، که بعضی مواقع به آن‌ها کودهای شیمیایی عناصر اولیه اطلاق می‌گردد، مصرف می‌شوند. کودهای شیمیایی که گوگرد، منیزیم و عناصر کم‌مصرف را تأمین کند، نیز ساخته می‌شوند. از اطلاعات جدول ۱۳-۱۶ می‌توان مشاهده کرد. که یک عنصر خاص غذایی مانند نیتروژن می‌تواند به وسیله بسیاری از حاملین، و یا ترکیبات کودی، تأمین گردد. تصمیم به استفاده از کود شیمیایی خاص نه تنها در ارتباط با عناصر غذایی موجود در آن، بلکه در ارتباط با دیگر خصوصیات انحصاری کود نیز می‌باشد جدول ۱۳-۱۶ اطلاعاتی در مورد بعضی از این خصوصیات مانند خطر شورشیدن، تمایل به اسیدی شدن، تمایل به تصعید، سهولت انحلال و میزان عناصر غیراز عناصر اصلی را ارائه می‌دهد. در بین کودهای نیتروژنی آمونیاک مایع محلول‌های نیتروژن و اوره بیشتر از همه مورد استفاده می‌باشند. دی‌آمونیم فسفات و کلورو پتاسیم حجم بزرگی از فسفر و پتاسیم مورد استفاده در آمریکا را تشکیل می‌دهند.

اشکال فیزیکی کودهای تجاری

در سال‌های قبل اکثر کودهای تجاری در کیسه‌هایی کاغذی و یا پلاستیکی فروخته شده و به وسیله کامیون‌ها به مزارع حمل و با دست در داخل کودپاش تخلیه و در زمین توزیع می‌گردید. امروزه کمتر از ۱۰٪ تمام کودهای شیمیایی با این شیوه استفاده می‌شوند (جدول ۱۴-۱۶). افزایش مصرف کودشیمیایی و هزینه‌های کارگری همراه با روش‌های بهتر انتقال و مصرف و افزایش کارگزاران مدیریت مصرف کود سبب ایجاد دو روش جایگزین در بازاریابی کود شده است که عبارتند از (۱) کودهای جامد بسته‌بندی نشده که در شکل فله اداره می‌شود و (۲) به صورت مایع و یا سیال در مخازن نگهداری، حمل و توزیع می‌گردند. در هر دو روش هزینه‌ها به خصوص هزینه کارگری کاهش یافته است.

توزیع فله، معمولاً موافقی که مزرعه دارای کامیون‌ها و یا توزیع کننده بزرگ کود باشد انجام می‌شود و برای استعمال کودهای شیمیایی چند عنصری مناسب می‌باشد (جدول ۱۴-۱۶). معمولاً توزیع فله‌ای به درخواست زارع به وسیله عامل توزیع و فروش کود یا کارگزاران شخصی انجام، و مواد کودی از یک کارخانه کوچک دارای موقعیت راهبردی خاص فراهم می‌گردد. کود شیمیایی مورد نظر خریدار با اجزای موردنظر تولید گردیده مستقیماً به مزرعه فرستاده می‌شود. فرایند نیازمند نیروی کار صحرایی اندک بوده و کود مورد درخواست زارع را در زمان معین و به طور کارا تهیه می‌کند.

کودهای مایع بیشتر از نصف کودهای شیمیایی تک‌عنصری را که در آمریکا فروخته می‌شود شامل بوده و حدود ۴۰ درصد کل کودها را تشکیل می‌دهد (جدول ۴-۱۶). در این‌جا نیز هزینه‌های کارگری پایین می‌باشد، زیرا کود شیمیایی از یک مخزن به مخزن دیگر انتقال یافته و به وسیله تلمبه‌ی مکانیکی در مزارع استعمال می‌شوند. به علاوه هزینه کودی در بعضی از کودهای شیمیایی مایع (برای نمونه آمونیاک مایع) پایین بوده و عناصر غذایی معمولاً قبل از کشت مصرف می‌شوند. کارگزاری توزیع و مصرف کود شیمیایی معمول بوده و بیشتر مسوولیت را از شانه‌های زارعین در این رابطه برداشته‌اند.

این تغییرات در بازاریابی کود استعمال کود را آسان‌تر کرده، و به همین ترتیب، همراه با ملاحظات اقتصادی، عامل مهمی در افزایش استفاده از کود می‌باشد. آن‌ها ممکن است در مصرف کود، همسنگ با اصول علمی و یا بیشتر از آن تأثیرگذار باشند. ملاحظات اقتصادی، و همین‌طور اصول علمی را در مورد مصرف کود، هنگامی که در جستجوی راه‌های بهتری برای کسب اطمینان از بالا بردن کیفیت خاک به وسیله کود و به حداقل رساندن تخریب محیط زیست هستیم، باید در نظر داشته باشیم.

درجه‌ی کود شیمیایی^۱

کودهای شیمیایی ابتدا در اواخر قرن ۱۹ و اوایل قرن ۲۰ به صورت صنعتی ساخته شدند. روش‌های تجزیه و قوانینی همزمان برای تنظیم این صنعت به تصویب رسیدند که سبب به وجود آمدن برچسب‌ها و معاهدات تجاری گردیدند که هنوز هم مورد استفاده می‌باشند.

از این معاهدات مهم‌ترین آن‌ها به درجه‌ی کود شیمیایی مشهور است. برچسب هر کود شیمیایی درجه‌ی کود را بر حسب رمز سه حرفی بیان می‌دارد مثلاً ۱۰-۵-۱۰ و یا ۲۴-۲۴-۶ این شماره‌ها بیانگر درصد کودها به ترتیب بر حسب میزان نیتروژن (N) میزان اسید فسفریک قابل استفاده (P_2O_5) و میزان پتاسیم قابل استفاده (K_2O) می‌باشد. گیاهان فسفر و پتاسیم را در این اشکال شیمیایی جذب نمی‌کنند، و هیچ کود شیمیایی در واقع دارای P_2O_5 و K_2O نمی‌باشد.

جدول ۱۳-۱۶ کودهای غیرآلی مورد استفاده معمول: میزان عناصر و سایر خصوصیات آن‌ها

کود شیمیایی	درصد وزنی						خطر شوش شدن	تمایل به تشکیل اسید kgCaCO ₃ /100kg	ملاحظات
	N	P	K	S	Ca	Mg			
منابع اصلی نیتروژن									
آمونیاک خشک ^۱	۸۲						کم	-۱۲۸	وسیله تحت فشار مورد نیاز بوده و گاز سمی است
اوره ^۲	۴۵						متوسط	-۸۴	محلول بوده و آنزیم اوره‌آز، اوره را به سرعت به اشکال آمونیوم تبدیل می‌کند
نترات آمونیوم ^۳	۳۳						بالا	۵۹	رطوبت را از هوا جذب کرده و قابل انفجار می‌باشد
اوره با پوشش گوگردی ^۴	۳۰-۳۰			۱۳-۱۶			کم	-۱۱۰	میزان آزاد شدن کند و متغیر
فرم آلیدید اوره ^۵ UF	۳۰-۳۰						خیلی کم	-۶۸	به آهستگی قابل حل می‌باشد
محلول UAN ^۶	۳۰						متوسط	-۵۲	نیتروژن مایع مورد استفاده بسیار معمول
ایزوبوتیلدون دیپورنه ^۷ IBDA	۳۰						خیلی کم	--	به آهستگی قابل حل
سولفات آمونیوم ^۸	۲۱			۲۴			زیاد	-۱۱۰	با سرعت pH خاک را پایین می‌آورد، مدیریت آسان
نترات سدیم ^۹	۱۶						بسیار زیاد	+۲۹	سخت شده و سبب پراکنده شدن ساختمان خاک می‌شود
نترات پتاسیم ^{۱۰}	۱۳		۳۶	۰/۰۲	۰/۴	۰/۳	بسیار زیاد	+۲۶	عکس‌العمل نبات به کود خیلی سریع است
منابع اصلی فسفر									
متو آمونیوم فسفات ^{۱۱}	۱۱	۲۱-۲۳		۱-۲			کم	-۶۵	بهترین کود فسفره برای آغاز رشد
دی آمونیوم فسفات ^{۱۲}	۱۸-۲۱	۲۰-۲۳		۰-۱			متوسط	-۷۰	بهترین کود فسفره برای آغاز رشد
سوپر فسفات تریپل ^{۱۳}		۱۹-۲۲		۱-۳	۱۵		کم	۰	--
سنگ فسفات ^{۱۴}		۸-۱۸			۳۰		خیلی کم	متغیر	قابلیت انحلال کم تا خیلی کم به صورت گردریز در خاک‌های اسیدی دارای Fixed
سوپر فسفات تنها ^{۱۵}		۷-۹		۱۱	۲۰		کم	۰	غیرقابل اشتغال می‌تواند پایدار جای‌گذاری شود
استخوان آسیاب شده ^{۱۶}	۱-۳	۱۰		--	۲۰		خیلی کم	--	قابلیت استفاده کند P یا N همانند سنگ فسفات
فسفات کلوییدی ^{۱۷}		۸			۲۰		خیلی کم	--	قابلیت استفاده همانند سنگ فسفات
منابع اصلی پتاسیم									
کلرور پتاسیم ^{۱۸}			۵۰				بالا	۰	کلر ممکن است سبب کاهش بعضی از بیماری‌ها شود
سولفات پتاسیم ^{۱۹}		۴۲	۱۷	۰/۷	۱/۲		متوسط	۰	وقتی کلر مطلوب نیست به کار می‌رود
خاکستر چوب ^{۲۰}	۰/۵-۱	۱-۴		۱۰-۲۰	۲-۵	Fe-Mn-Zn-Cu-B ^{۲۱}	متوسط	+۴۰	۱/۳ زرش آهنک‌دادن- سوزش آور
شن سبز ^{۲۲}	۰/۶	۶					خیلی کم	۰	قابلیت استفاده‌ای اندک
گره‌گرانیت ^{۲۳}		۴					خیلی کم	--	قابلیت استفاده‌ای اندک
منابع اصلی سایر عناصر غذایی									
پس‌مانده‌های صنایع ^{۲۴}	۱-۷			۳-۳۰	۳	Fe/۱۰ Mn/۲	کم	+۷۰	محصول فرعی صنعتی قابلیت استفاده اندک
گچ ^{۲۵}			۱۹	۲۳			کم	۰	سبب پایداری ساختمان خاک می‌شود اثری بر روی pH ندارد
سنگ آهک کلسینی ^{۲۶}				۳۶			خیلی کم	+۹۵	قابلیت استفاده اندک، pH را بالا می‌برد
سنگ آهک دولومینی ^{۲۷}				۲۴	۱۲		خیلی کم	+۹۵	قابلیت استفاده اندک، pH را بالا می‌برد
نمک ایسم (سولفات منیزیم) ^{۲۸}			۱۳	۲	۱۰		متوسط	۰	اثری بر روی pH ندارد محلول در آب
گل گوگرد ^{۲۹}			۹۵				--	۳۰۰	چشم را آزار می‌دهد، اکسید کننده قوی، آهسته عمل می‌کند، نیازمند اکسایش میکروبی
سولوبر ^{۳۰}						B/۲۰/۵	متوسط	-	بسیار محلول سازگار برای برگ پاشی
کیلات EDTA ^{۳۱}						Cu-Fe Mn- Zn			دارای یک یا دو عنصر کم مصرف (۱۳٪ Cu، ۱۰٪ Fe، ۱۲٪ Mn یا ۱۲٪ Zn، ۰۵٪ Zn، ۰۰۵٪ Cu، ۰۱۳٪ B)

- 1) Anhydrous ammonia (NH₃) 2) Urea (CO(NH₂)₂) 3) Ammonium nitrate (NH₄NO₃) 4) Sulfur-Coated urea 5) Urea formaldehyde
6) Urea, ammonium nitrate (UAN) 7) Isobutylidene diurea (IBDA) 8) Ammonium sulfate (NH₄)₂SO₄ 9) Sodium nitrate (NaNO₃)
10) Potassium nitrate (KNO₃) 11) Monoammonium phosphate (NH₄H₂PO₄) 12) Diammonium phosphate (NH₄)₂HPO₄ 13) Triple Superphosphate
14) Phosphate rock [Ca₃(PO₄)₂.Cax] 15) Single Superphosphate 16) Bone meal 17) Colloidal Phosphate 18) Potassium Chloride (KCl)
19) Potassium sulfate (K₂SO₄) 20) Wood ashes 21) Greensand 22) Granite dust 23) Basic slag 24) Gypsum (CaSO₄.2H₂O)
25) Calcitic limestone CaCO₃ 26) Dolomitic limestone Ca, Mg(CO₃)₂ 27) Epsom Salt MgSO₄.7H₂O 28) Sulfur flower(s) 29) Soluber
30) EDTA chelate 31) (Fe 0.2% Mn 0.8% Zn 0.05% Cu 0.005% B 0.13%)

* عدد منفی معرف تشکیل اسید و عدد مثبت نشانه‌ی تشکیل قلیا است.

جدول ۱۴-۱۶ اشکال تجاری کود شیمیایی در آمریکا: اکثر کودهای شیمیایی مصرف شده در آمریکا در سال‌های ۱۹۹۵-۱۹۹۶ یا به صورت فله‌ای بوده که با کامیون حمل گردیده، و یا به شکل مایع مصرف شده و کمتر از ۱۰ درصد به صورت پاکتی بوده است. توزیع اکثر کودهای فله‌ای و کودهای مایع به وسیله کارگزاران اعمال شده است. ادوات مصرف کود و مواد مصرف شده عمدتاً برپایه ملاحظات اقتصادی و هزینه‌های کارگری مشخص می‌شود.

درصد مورد تجارت در شکل بیان شده

نوع کود	پاکتی	فله‌ای	مایع
کود تک‌عنصری	۳/۱	۴۴/۹	۵۲/۰
کود چندعنصری	۱۹/۲	۵۸/۶	۲۲/۱
مجموعه‌ای کودها	۹/۳	۵۰/۴	۴۰/۳

این نوع توصیف‌ها یادگار روزهایی است که شیمی‌دانان زمین‌شناس میزان عناصر سنگ را برحسب اکسیدهای تشکیل شده بر اثر حرارت گزارش می‌کردند. متأسفانه، این نوع توصیف‌ها به قوانین ایالتی حاکم بر فروش کودهای شیمیایی راه یافتند، مقاومت زیادی در مقابل تغییر آن‌ها به عمل می‌آید. صنعت کود شیمیایی به تدریج از این روش قدیمی برای تشریح میزان کود شیمیایی دور می‌گردد. در تمام کارهای علمی در این کتاب میزان عناصر ساده مورد استفاده می‌باشد (K و P به ترتیب برای P_2O_5 و K_2O). تابلو ۲-۱۶ چگونگی تبدیل اشکال عنصری و اکسیدی را با یکدیگر تشریح می‌کند.

درجه‌ی کود از نظر اقتصادی مهم است، زیرا به مفهوم تجزیه و میزان غلظت عناصر در حامل عناصر غذایی (کود) می‌باشد. وقتی به گونه‌ای سنجیده استعمال گردد اکثر کودهای شیمیایی نتایج خوب مشابهی را در یک مقدار عناصر غذایی مشخص ارائه می‌دهند. کودهای شیمیایی غلیظ‌تر معمولاً از نظر استفاده دارای بالاترین صرفه اقتصادی می‌باشند، زیرا وزن کمتری از کود برای تأمین مقدار مورد لزوم یک عنصر غذایی باید حمل و نقل گردد. بنابراین، مقایسه‌ی اقتصادی در بین کودهای شیمیایی مناسب، باید براساس قیمت در هر کیلوگرم عنصر غذایی نه بر پایه‌ی قیمت هر کیلوگرم کود، تعیین گردد.

سرنوشت عناصر کود شیمیایی

یک افسانه عامیانه درباره‌ی کودها مطرح می‌کند که کودهای شیمیایی مصرف شده در خاک مستقیماً سبب تغذیه نبات می‌شوند؛ بنابراین، پیامد چرخه زیستی عناصر غذایی، همانند آنچه برای نیتروژن و فسفر گفته شد (شکل‌های ۳-۱۳ و ۶-۱۴) وقتی کودهای شیمیایی به کار می‌روند بسیار اندک خواهد بود. واقعیت این است که عناصر غذایی اضافه شده بر اثر مصرف معمولی کودهای شیمیایی، چه آلی و چه معدنی، در چرخه پیچیده خاک و عناصر غذایی داخل گشته و بخش نسبتاً اندکی از عناصر غذایی کود شیمیایی (۶۰-۱۰ درصد) در سال مصرف در داخل نبات وارد می‌شود. حتی وقتی مصرف کود شیمیایی سبب افزایش شدید رشد نبات و جذب زیاد عنصر خاصی گردد کود شیمیایی تا حدی سبب تقویت و افزایش چرخه عنصر غذایی گشته و تعداد پین‌های غذایی دریافت شده به وسیله نبات مستقیماً از کود شیمیایی نبوده، بلکه عمدتاً از منابع مختلف موجود در خاک تأمین می‌گردد. این دانش با تجزیه‌ی دقیق طی ده‌ها مطالعه‌ی دقیق با نشان‌دار کردن عنصر موجود در کود شیمیایی (عناصر پرتوزا) به دست آمده است. نتایج حاصل از این مطالعات، که در جدول ۱۵-۱۶ خلاصه شده است، نشان می‌دهد نیتروژن بیشتری از آنچه در کود است جذب نبات شده است. معمولاً وقتی میزان مصرف کود شیمیایی افزایش می‌یابد، کارایی استفاده از عناصر کود شیمیایی کاهش یافته و مقدار زیادی از عناصر اضافه شده در خاک باقی می‌ماند.

تابلو ۲-۱۶ چه مقدار نیتروژن، فسفر و پتاسیم در یک کیسه‌ی کود ۲۴-۲۴-۶ موجود است

برچسب‌های مرسوم در کودهای شیمیایی درصد K_2O ، P_2O_5 و N را مشخص می‌کنند، بنابراین، یک کیسه کود شیمیایی که مطابق شکل ۲۰-۱۶ به صورت ۲۴-۲۴-۶ برچسب خورده است (۶ درصد N ، ۲۴ درصد P_2O_5 و ۲۴ درصد K_2O). در واقع دارای ۶ درصد نیتروژن و ۱۰/۵ درصد فسفر و ۱۹/۹ درصد پتاس می‌باشد.

شکل ۲۰-۱۶ یک برچسب نمونه‌ی کود شیمیایی. توجه کنید که محاسبات باید برای تعیین درصد عناصر غذایی، P و K در کود شیمیایی انجام شود زیرا میزان عناصر بر حسب P_2O_5 و K_2O بیان گردیده است. همچنین توجه کنید که پس از تعامل با خاک و نبات، این مواد سبب افزایش اسیدیته خاک خواهد شد که باید، ۳۰۰ پوند $CaCO_3$ برای خنثی کردن هر ۲۰۰۰ پوند (۱ تن) از این کود شیمیایی مصرف گردد.

6-24-24

تجزیه‌ی تضمینی

TOTAL NITROGEN(N) 6.0%
AVAILABLE PHOSPHORIC ACID(P_2O_5) 24.0%
SOLUBLE POTASH(K_2O) 24.0%

توان اسیدی

معادل ۳۰۰ پوند کربنات کلسیم در یک تن کود

برای تعیین مقدار کود مورد نیاز و تأمین مقدار توصیه شده یک عنصر غذایی خاص لازم است که درصد K_2O و P_2O_5 به درصد P و K تبدیل شوند این کار با محاسبه نسبت P در P_2O_5 و نسبت K در K_2O انجام می‌شود محاسبات زیر ممکن است مورد استفاده باشند. با توجه به وزن مولکولی P و K و N که به ترتیب عبارتند از ۳۰/۹۷، ۳۹/۱۰ و ۱۶ گرم در مول، وزن مولکولی P_2O_5 ، ۱۴۱/۹۴ و نسبت P در آن عبارتست:

$$\frac{2 \times 30.97}{141.94} = 0.436$$

بنابراین، برای تبدیل P_2O_5 به P باید مقدار اولی در ۰/۴۴ ضرب گردد.

وزن مولکولی K_2O عبارتست از ۹۴/۲۰ و نسبت K در K_2O عبارتست از:

$$\frac{2 \times 39.1}{94.2} = 0.83$$

بنابراین، برای تبدیل K_2O به K باید مقدار اولی در ۰/۸۳ ضرب گردد.

بنابراین، اگر کیسه‌ی کود با برچسب شکل ۲۰-۱۶ دارای ۲۵ کیلوگرم وزن باشد سبب تأمین مقدار نیتروژن فسفر و پتاس به شرح زیر خواهد بود.

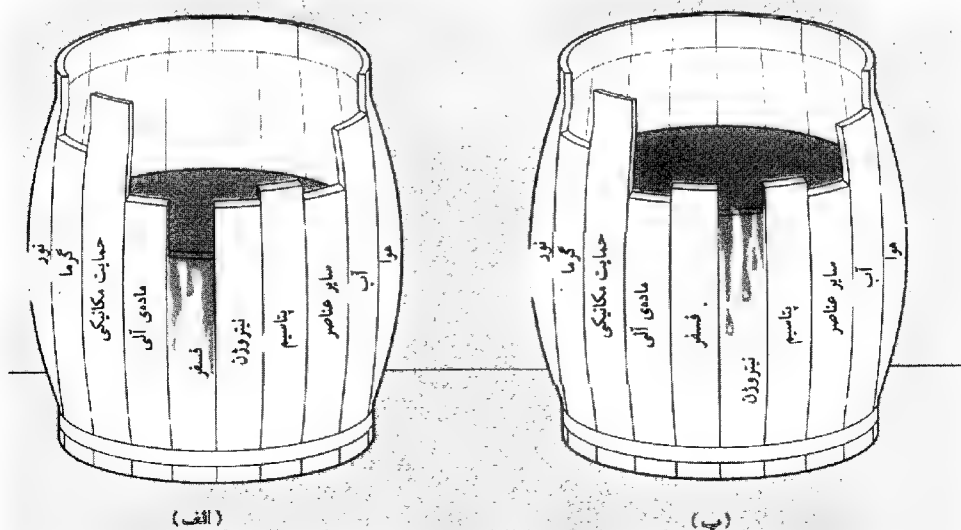
نتایج تجزیه کود	تبدیل به درصد عناصر	میزان عناصر موجود در کود
۶ درصد N	$6 \times 1 = 6\% N$	$25 \times 0.06 = 1.5 \text{ kg } N$
۲۴ درصد P_2O_5	$24 \times 0.44 = 10.5\% P$	$25 \times 0.105 = 2.6 \text{ kg } P$
۲۴ درصد K_2O	$24 \times 0.83 = 19.9\% K$	$25 \times 0.199 = 5 \text{ kg } K$

۱۲-۱۶ مفهوم عامل محدودکننده رشد^۱

این قانون، که اول بار به وسیله‌ی ونلیک شیمی‌دان مشهور آلمانی، ارائه گردیده است بیان می‌دارد که: «عملکرد محصول از سطحی که به وسیله‌ی کمترین مقدار عامل رشد درمقایسه با بهینه مقدار آن عامل تعیین می‌گردد تجاوز نخواهد کرد.» عامل رشد چه دما، چه نیتروژن و یا مقدار آب باشد، میزان رشد ممکن را محدود کرده، و بنابراین، عامل محدودکننده رشد نامیده می‌شود (شکل ۲۱-۱۶).

¹ - Limiting Factor

اگر عاملی محدودکننده نباشد، افزایش آن سبب افزایش اندکی در رشد بوده و یا اصولاً تأثیری در افزایش رشد نخواهد داشت. درحقیقت افزایش یک عامل محدودکننده ممکن است در واقع سبب کاهش رشد نبات به علت خارج کردن بیشتر نظام از تعادل گردد. برای مثال، اگر نبات به علت کمبود فسفر دارای محدودیت رشد باشد ممکن است افزودن نیتروژن بیشتر کمبود فسفر را تشدید کند. اگر از زاویه دیگر نگاه کنیم، ممکن است اضافه کردن فسفر قابل استفاده (اولین عامل محدودیت رشد در مثال قبل) اجازه دهد که نبات با اضافه کردن بعدی نیتروژن پاسخ مثبت بدهد. بنابراین، افزایش عملکرد با استفاده از دو عنصر غذایی با هم اغلب به مراتب بیشتر از مجموع افزایش عملکرد جداگانه بر اثر استفاده از هر عامل می باشد. این برهم کنش و یا همراهی بین عناصر را می توان از اطلاعات شکل (۱۶-۲۲) مشاهده نمود.

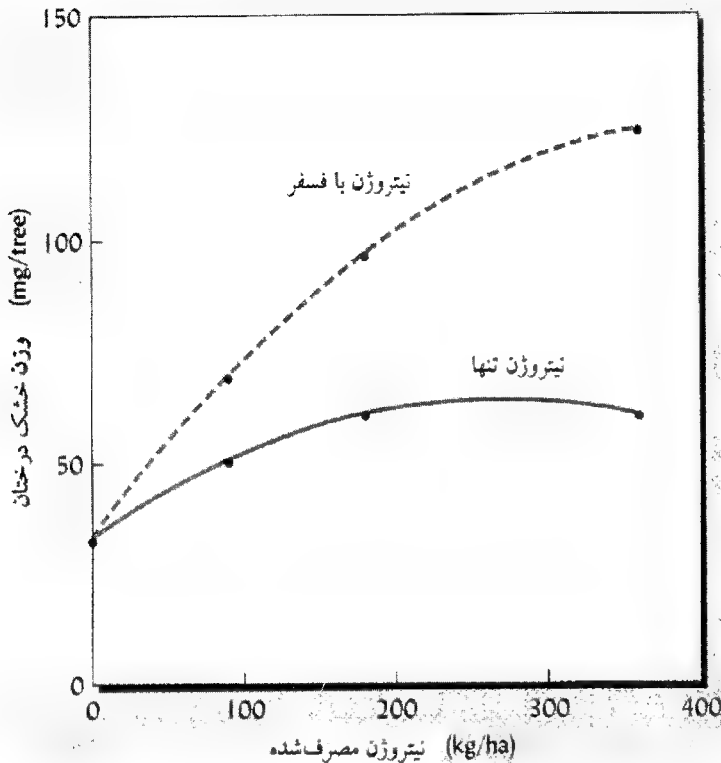


شکل ۱۶-۲۱ تشریح قانون کیمه و مفهوم عامل محدود کننده: رشد نبات بر اثر عناصر اساسی (و یا عوامل دیگر) که بیشترین محدودیت را دارد با مانع مواجه می شود. سطح آب در بشکه بیانگر میزان تولید است. الف) فسفر به عنوان عامل دارای بیشترین محدودیت معرفی گردیده است. حتی با وصف آن که سایر عناصر بیش از مقدار کافی وجود دارند رشد نبات از آنچه به وسیله مقدار فسفر قابل استفاده تعیین می شود بیشتر نخواهد بود. ب) وقتی فسفر اضافه گردد میزان تولید افزایش می یابد تا جایی که عامل دیگری محدودکننده ترین گردد که در این مورد نیتروژن می باشد.

جدول ۱۵-۱۶ منبع نیتروژن در کشت ذرت در کارولینای شمالی در خاک های لوم شنی انون (اولتیک هاپلودالف^۱) با سه میزان نیتروژن در کود نترات آمونیوم (منبع نیتروژن در نبات ذرت که با استفاده از کود شیمیایی نشان دار با ایزوتوپ ^{15}N مشخص گردید). توجه کنید که مصرف متوسط کود نیتروژنی سبب افزایش جذب نیتروژن قبلی موجود در نظام و همچنین نیتروژن حاصل از کود شیمیایی گردید.

کود نیتروژنی مصرف شده kg/ha	عملکرد دانه ذرت kg/ha	کل نیتروژن در ذرت Mg/ha	نیتروژن حاصل از کود شیمیایی در ذرت kg/ha	نیتروژن حاصل از خاک در ذرت kg/ha	نیتروژن حاصل از کود شیمیایی در ذرت بر حسب درصد کل نیتروژن ذرت	نیتروژن حاصل از کود شیمیایی بر حسب درصد نیتروژن مصرف شده
۵۰	۳/۹	۸۸	۲۸	۶۰	۳۳	۵۶
۱۰۰	۴/۶	۱۴۶	۵۵	۹۱	۳۸	۵۵
۲۰۰	۵/۵	۱۵۷	۸۶	۷۱	۵۵	۴۳

^۱ - Enon sandy loam (Ultic Hapludalfs)



شکل ۲۲-۱۶ افزایش زیتوده‌ی نهال‌های یک‌ساله‌ی کاج سفید در عکس‌العمل به کود نیتروژنی، با و بدون مصرف فسفر در یک خاک شنی در انتاریو جنوبی در کانادا. فسفر در این خاک مشخصاً محدود‌کننده‌ترین عنصر غذایی بود؛ بنابراین، پاسخ اندکی با اضافه‌کردن نیتروژن حاصل گردید تا این‌که فسفر اضافه شد. این مثال نمونه‌ای از اثرات متقابل نیتروژن و فسفر در میزان عملکرد می‌باشد.

۱۳-۱۶ روش‌های مصرف کود

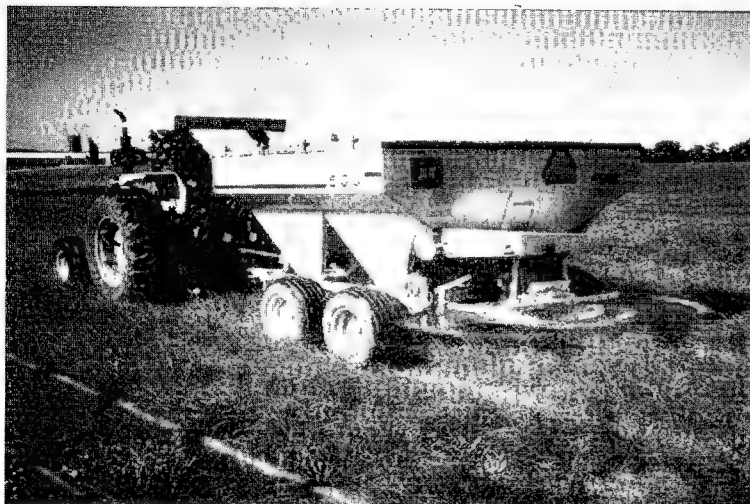
مصرف مؤثر و بخردانه‌ی کود شامل تصمیم‌گیری‌های درست در مورد انتخاب عناصر غذایی، تعیین میزان هر یک از عناصر غذایی مورد نیاز، نوع کود یا حامل کود (جداول ۸-۱۶ و ۱۲-۱۶ بعضی از امکانات را درج کرده است)، نحوه‌ی استعمال کود و نهایتاً زمان مصرف کود می‌باشد. اطلاعات مربوط به دو تصمیم‌گیری اول را به بعد (بخش ۱۵-۱۶) موکول کرده و در این جا گزینه‌های موجود در ارتباط با دو تصمیم‌گیری نهایی را مورد بحث قرار خواهیم داد.

سه نوع رهیافت کمی برای کاربرد کودهای شیمیایی وجود دارد که عبارتند از پخش کردن، جایگزینی موضعی و برگ‌پاشی. هر روش دارای مزایا و معایبی بوده و ممکن است برای موقعیت‌های ویژه اختصاصاً مناسب باشد. اغلب ترکیبی از هر سه روش به کار گرفته می‌شود.

پخش یکنواخت کود^۱

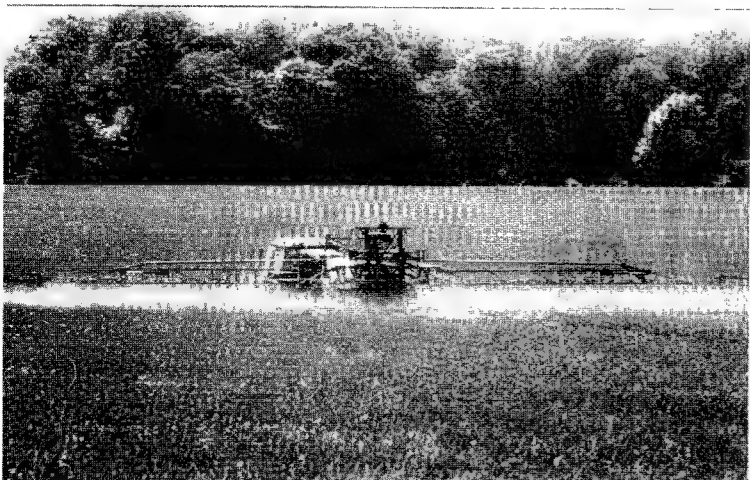
در بسیاری از موارد کود به‌طور یکنواخت در تمام مزرعه و یا سطحی که باید کود مصرف شود، پخش می‌گردد این روش پخش کردن نامیده می‌شود. در این روش اغلب کود با لایه‌ی شخم به‌وسیله‌ی ادوات خاک‌ورزی مخلوط شده، اما در بعضی مواقع کود در سطح خاک باقی‌مانده و به‌وسیله‌ی آب نفوذی حاصل از باران و آب آبیاری به‌داخل منطقه انتشار ریشه منتقل می‌شود. این روش هنگامی که مقادیر زیاد کود به‌منظور ارتقای سطح حاصلخیزی خاک در یک زمان طولانی مورد استعمال قرار گیرد مناسب‌ترین روش به‌شمار می‌رود. پخش کود باصرفه‌ترین روش برای توزیع مقادیر زیاد کود شیمیایی در مناطق وسیع می‌باشد (شکل ۲۳-۱۶).

^۱ - Broadcasting



(الف)

شکل ۲۳-۱۶ الف) پخش سطحی فسفر
گرددانه و کود پتاس در یک علف‌زار در
مربلند آمریکا. ب) پخش سطحی محلول
نیترژن مخلوط با قارچ‌کش در یک مزرعه
گندم در فرانسه.



(ب)

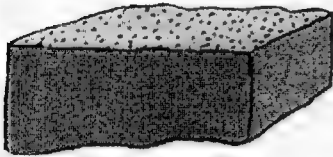
برای نباتات متراکم پخش یکنواخت کود توزیع مناسبی از عناصر غذایی را فراهم می‌کند، بنابراین، معمول‌ترین روش مورد استفاده برای مراتع، علف‌زارها، محصولات دانه‌ریز، چمن و جنگل‌ها می‌باشد. پخش یکنواخت کودهای شیمیایی همچنین در بعضی از گیاهان ردیفی، به‌خصوص در پاییز که انجام کار بسیار آسان اما مطمئناً دارای کارایی بالا نیست، اعمال می‌گردد. کود پخش‌شده ممکن است داخل خاک گردیده و یا در سطح باقی بماند (شکل ۲۴-۱۶ ج).

برای فسفر، روی منگنز و سایر عناصر غذایی که تمایل دارند در خاک به شدت نگهداری شوند پخش یکنواخت در مقایسه با توزیع موضعی دارای کارایی کمتری می‌باشد. اغلب آن ۲ تا ۳ کیلوگرم کود شیمیایی باید پخش گردد تا به همان پاسخ مصرف موضعی یک کیلوگرم از همان کود دسترسی یابیم.

مصرف سنگین یک باره کود فسفره و پتاسیم به‌صورت پخش یکنواخت و داخل نمودن آن در خاک اقدامی مناسب برای استقرار چمن و علف‌زار دائمی می‌باشد. ممکن است لازم باشد که کود سرک در سال بعدی به‌صورت یکنواخت مصرف گردد. باید مواظب بود کودهایی که دارای خطرات شدید ایجاد شوری می‌باشند (جدول ۱۳-۱۶) مدت طولانی در تماس با سطح برگ و ایجاد سوختگی بر اثر نمک قرار نگیرند. به‌خاطر تحرک زیاد نیترژن در خاک، نیترژن با کاهش قابلیت استفاده در پخش یکنواخت مواجه نمی‌باشد، اما اگر کود در سطح خاک قرار داده شود، اکثر آن بر اثر فراریت از بین خواهد رفت. هدررفت حاصل از فراریت، مخصوصاً برای اوره و کودهای آمونیومی که در خاک‌های دارای pH بالا مصرف می‌شوند، مشکل‌ساز است. نیترژن معمولاً در شکل مایع پخش می‌شود (برگ افشان) و اغلب محلول آن دارای سایر عناصر غذایی و یا دیگر مواد شیمیایی نیز می‌باشد (شکل ۲۳-۱۶ ب).

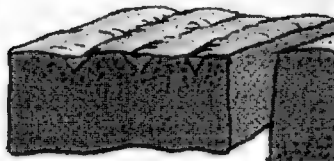
عیب دیگر پخش سطحی آن است که کود به آسانی به وسیله رواناب در باران‌های سنگین آبشویی می‌شود. در واقع بسیاری از مطالعات در مورد رواناب نشان داده‌اند که بیشتر هدررفت سالانه‌ی عناصر غذایی (و یا علف‌کش‌ها اگر پخش سطحی شوند) معمولاً در یک دو بارش سنگین پس از پخش سطحی صورت می‌گیرد.

پخش در سطح خاک



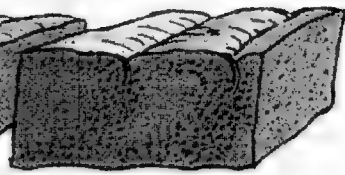
(الف)

پخش و مخلوط کردن
به وسیله دیسک



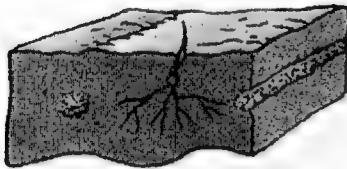
(ب)

پخش و با شخم
به داخل خاک بردن



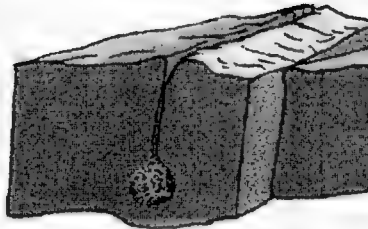
(ج)

نواری در هنگام کشت



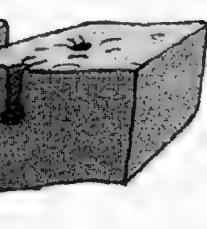
(د)

تزریق عمیق



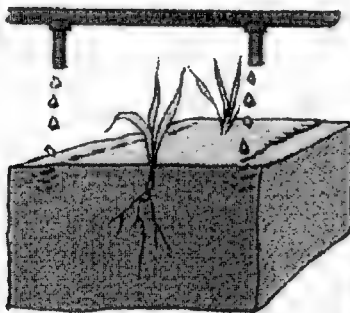
(ه)

تزریق نقطه‌ای



(و)

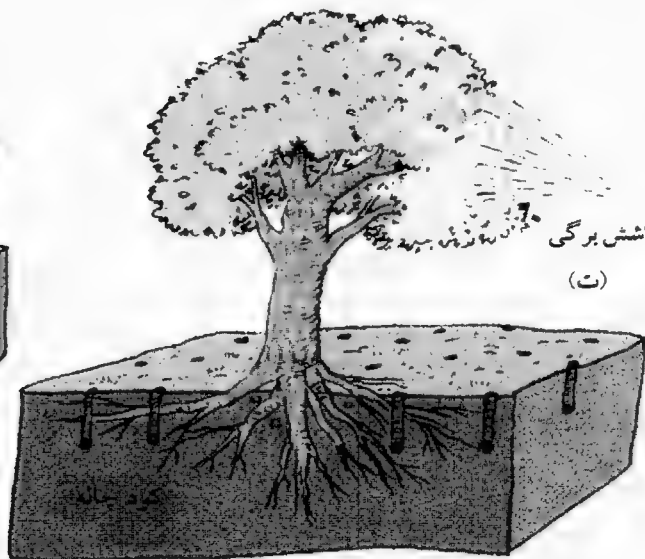
قطره چکانی در نوار



(ز)

پاشش برگ‌گی

(ت)



(ح)

شکل ۲۴-۱۶ کود شیمیایی بسته به شرایط ممکن است به روش‌های مختلفی استعمال گردد. روش‌های الف تا ج معرف پخش سطحی کود با و یا بدون مخلوط کردن آن با خاک است. روش‌های د، ه اشکال مختلف جایگذاری موضعی است. روش (ت) عبارتست از افشان برگ‌گی که دارای مزایا و محدودیت‌هایی می‌باشد. ۲ و یا ۳ نوع از این روش‌ها ممکن است در توالی با یکدیگر مورد استفاده باشند. برای مثال یک مزرعه با روش (ج) قبل از کشت آماده گردد. (د) ممکن است در حین کشت مورد استفاده باشد. (و) ممکن است به صورت کود کناری در اول فصل مورد استفاده باشد و بالاخره (ز) ممکن است برای اصلاح کمبود عناصر کم مصرف که در اواسط فصل آشکار می‌شود به کار رود.

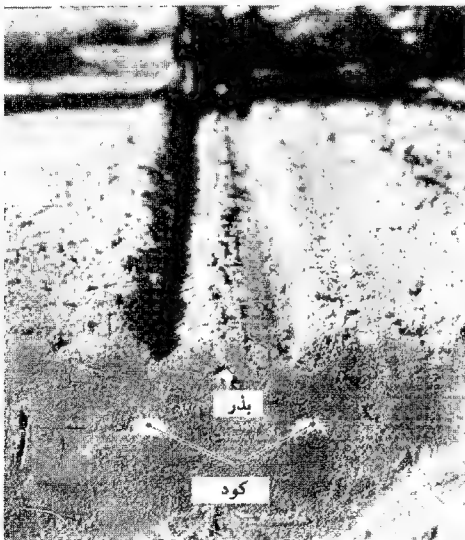
استعمال در آب آبیاری: در مناطقی که آبیاری انجام می‌شود. کودهای مایع می‌توانند در آب آبیاری استعمال گردند. روشی که بعضی مواقع به آن کود آبیاری^۱ گفته می‌شود. آمونیاک مایع، محلول‌های نیتروژن، اسید فسفریک و حتی کودهای کامل در جوی آبیاری و یا نظام آبیاری بارانی حل می‌شوند. بنابراین، عناصر غذایی در سطح خاک به صورت محلول پخش سطحی گردیده و به وسیله آب نفوذی به داخل خاک انتقال می‌یابند. در این روش نه تنها هزینه‌های استعمال کود کاهش می‌یابد بلکه می‌توان از حاملین نسبتاً ارزان نیتروژن نیز استفاده کرد. برای جلوگیری از هدررفت آمونیاک بر اثر فراریت و همچنین اجتناب از گرفته شدن نظام آبیاری به وسیله رسوبات حاصل از ترکیبات کودی، باید مقداری احتیاط لازم را بعمل آورد.

در پایان باید اشاره کرد که در زراعت‌ها با فاصله زیاد ردیف‌ها و یا نهال‌های جوان در کشت درختان جنگلی، پخش سطحی کود را در محلی قرار می‌دهد که دسترسی علف‌های هرز به آن دقیقاً همانند نبات مورد نظر می‌باشد.

جای‌گذاری موضعی

هرچند معمولاً تفکر بر این است که عناصر غذایی باید به طور کامل با منطقه‌ی انتشار ریشه مخلوط گردند تا گیاهان قادر باشند به آسانی نیازهای خود را مرتفع کنند، اما تحقیق به روشنی نشان داده است که گیاه به آسانی می‌تواند تمام عناصر مورد نیاز خود را از یک منبع غلیظ موضعی فقط در تماس با بخشی از شبکه‌ی ریشه تأمین کند. درحقیقت، بخش کوچکی از نظام ریشه نبات می‌تواند رشد کرده و در یک نوار کود شیمیایی گسترش یابد که در آن میزان شوری کود برای جوانه‌زدن بذرها و یا یک نبات کامل که قسمت اعظم شبکه‌ی ریشه آن در معرض کود قرار گرفته است، مهلک باشد. این یافته تحقیقاتی امکان توسعه فناوری‌ها را برای جای‌گذاری کود فراهم کرده است. حداقل دو دلیل برای این‌که چرا کود شیمیایی در صورت جای‌گذاری موضعی با تراکم بیشتر کود به جای مخلوط کردن خاک در تمام منطقه ریشه به وسیله نبات کاراتر مورد استفاده می‌باشد وجود دارد. اول آن‌که جای‌گذاری موضعی میزان تماس بین ذرات خاک و عناصر کود شیمیایی را کاهش داده و فرصت واکنش‌های منفی تثبیت را به حداقل می‌رساند. دوم غلظت عناصر غذایی محلول خاک در سطح ریشه بالا بوده و سبب ارتقای خیلی بیشتر جذب به وسیله ریشه‌ها می‌گردد.

مصرف کودهای آغازکننده رشد^۲: جای‌گذاری موضعی برای درختچه‌های جوان در خاک‌های خنک در اوایل بهار و برای نباتاتی که به سرعت رشد نموده و دارای تقاضای زیادی برای عناصر غذایی در اول فصل می‌باشند مخصوصاً مؤثر است. به این دلایل کود آغازکننده رشد اغلب به صورت نواری در هر دو طرف بذر هنگام کشت نبات جای‌گذاری می‌شود. از آن‌جاکه بذرها در حال جوانه‌زدن می‌توانند به وسیله نمک کودها دچار صدماتی گردند و از آن‌جاکه این نمک‌ها با تبخیر آب از سطح خاک تمایل دارند که به بالا حرکت کنند، بهترین جای‌گذاری برای کود آغازکننده رشد ۵ سانتی‌متر زیر و ۵ سانتی‌متر جدا از ردیف بذرکاری می‌باشد (شکل ۲۴-۱۶ و ۲۵-۱۶).



شکل ۲۵-۱۶ بسیاری از بذرکارهای جدید به ادوات مصرف نواری کود مجهز هستند که کود شروع‌کننده رشد را برای گیاهان ردیفی تا حدی در زیر و کنار بذر جای می‌گذارند. این جای‌گذاری خطر سوزاندن به وسیله کود را کاهش داده گرچه غلظت کود را در کنار بذر، که ریشه‌های نبات بلافاصله پس از جوانه‌زدن به آن مواجه می‌شوند، بالا می‌برد.

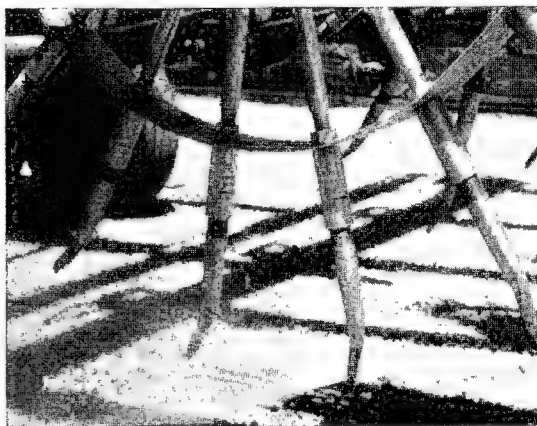
^۱ - Fertigation

^۲ - Starter Fertilizers

کودهای مایع: کودهای مایع و محلول‌های آبیکی کود دامی و لجن فاضلاب می‌توانند به‌جای پخش سطحی در نوارهایی مصرف گردند. نوارهای این کودهای مایع در عمق ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متر با استفاده از فرایندی که تزریق چاقویی نامیده می‌شود قرار می‌گیرد (شکل ۲۴-۱۶ هـ و ۱۶-۲۶). علاوه بر مزایایی که برای مصرف نواری کود بر شمرده شد، تزریق این مواد آلی آهکی از هدررفت رواناب و بوی بد جلوگیری می‌کنند.

آمونیاک مایع و محلول‌های نیتروژن تحت فشار باید برای جلوگیری از هدررفت ناشی از فراریت در داخل خاک تزریق گردند. نوارهای تزریقی به ترتیب در عمق ۱۵ و ۵ سانتی‌متر برای این دو ماده کافی می‌باشد.

استعمال قطره‌ای^۱: رهیافت دیگری برای مصرف کردن کودهای مایع (غیر از کود دامی آبیکی) عبارت از قطره چکان کردن جویباری نازک از کود مایع در کنار ردیف‌های کشت به‌عنوان کود کناری^۲ می‌باشد استفاده از قطره‌چکان به‌جای افشان پخش سطحی را به مصرف نواری تبدیل کرده و مایع کافی در منطقه‌ای باریک در خاک رسوخ می‌یابد. این عمل از هدررفت نیتروژن بر اثر فراریت ممانعت می‌کند.



شکل ۲۶-۱۶ عکس بالا چپ: لجن آبیکی فاضلاب در داخل خاک قبل از کشت نبات اصلی تزریق چاقویی می‌شود. این روش تزریقی هدررفت رواناب و بوهای آزاردهنده را کاهش می‌دهد. کاردهای سبک‌تر (در شکل نشان داده نشده است) برای تزریق کودهای مایع به‌کار می‌رود. (زیر) توزیع‌کننده میله‌ای چرخ‌دار برای تزریق نقطه‌ای کود مایع (بالا راست) نمای نزدیک توزیع‌کننده میله‌ای چرخ‌دار.

¹ - Dribble application

² - Side dressing

تزریق نقطه‌ای^۱: جای‌گذاری موضعی کود می‌تواند در یک مرحله فراتر از مصرف نواری در نظامی که سامانه‌ی نقطه‌ای نام دارد به اجرا برسد. در این نظام مقادیر اندکی از کود مایع بدون به‌هم‌زدن ریشه نبات و بقایای پوشش سطحی (در خاک‌ورزی حفاظتی) در کنار هر نبات استعمال می‌گردد. وسیله‌ی تزریق، که در شکل ۲۶-۱۶ نشان داده شده است، شکل جدیدی از چوب نوک‌تیز سابق است که روستاییان در کشورهای جهان سوم بذر خود را با آن کشت کرده و بعدها بخشی از کود را در داخل خاک در کنار هر نبات، با کمترین امکان به‌هم‌زدن خاک‌پوش سطحی قرار می‌دادند.

آبیاری قطره‌ای^۲: استفاده از نظام آبیاری قطره‌ای (بخش ۱۱-۶ را مشاهده کنید) مصرف موضعی عناصر غذایی را در آب آبیاری بسیار آسان نموده است، چون کوددادن پدین‌صورت در فواصل زمانی مکرر انجام می‌شود گیاهان اساساً به‌طور مرتب تغذیه شده (با قاشق خوراندن) و کارایی استفاده از عناصر غذایی بسیار بالاست.

کوددادن حفره‌ای^۳: درختان در باغات میوه و کشت‌های زیتی به‌طور جداگانه می‌توانند به بهترین وجه مورد تیمار قرار گیرند. کود شیمیایی به‌فاصله تقریبی یک متر از تنه‌ی اصلی تا سایه‌انداز درخت استعمال می‌شود (شکل ۲۸-۱۶ ج). کود به بهترین وجه با روشی که روش حفره‌ای نامیده می‌شود با حفر حفره‌های متعددی در اطراف هر درخت در نصف بیرونی سایه‌انداز تا تنه درخت که تا لایه فوقانی خاک تحت‌الارضی عمق دارد، توزیع می‌شود. در داخل این چاله‌ها، که بعداً پر می‌شوند، مقدار مناسبی کود قرار می‌گیرد. جبهه‌های مخصوص کود برای تحقق این هدف موجود است. این روش استعمال کود عناصر غذایی را در داخل منطقه‌ی انتشار ریشه جای‌گذاری کرده و از تحریک نامطلوب رشد علف هرز و یا گیاهان دیگر، که ممکن است در اطراف درخت سبز شوند ممانعت می‌کند. اگر گیاهان پوششی و یا چمن اطراف درخت نیازمند کوددادن باشند جداگانه مورد تیمار قرار می‌گرفته و کود در زمان بذرکاری به‌صورت دست‌پاش و یا ردیفی توزیع می‌شود.

مصرف برگ‌ی کود^۴

گیاهان قادرند که به‌مقدار محدودی عناصر غذایی را از طریق برگ‌های خود جذب کنند. در تحت شرایط خاص بهترین راه برای استعمال یک عنصر غذایی مصرف برگ‌ی با افشان‌نمودن یک محلول رقیق حاوی عنصر غذایی مورد نظر مستقیماً بر روی برگ می‌باشد. کودهای شیمیایی رقیق‌شده NPK، عناصر کم‌مصرف و مقادیر اندک اوره را می‌توان به‌صورت محلول‌پاشی برگ‌ی مورد استفاده قرار داد، هرچند باید احتیاط لازم را برای اجتناب از غلظت قابل‌توجه Cl^- و NO_3^- که می‌توانند برای بعضی نباتات سمی باشند، مبذول داشت، مصرف برگ‌ی ممکن است به‌طور آسان با انجام عملیات صحرایی در محصولات درختی تناسب داشته باشد، مثلاً کود اغلب همزمان با آفت‌کش‌ها مصرف می‌شود.

میزان عنصر غذایی که در هر بار مصرف بر روی برگ پاشیده می‌شود کاملاً محدود است. بنابراین، درحالی‌که چند افشان ممکن است تمام نیازهای عناصر کم‌مصرف را در تمام فصل تأمین کند، فقط بخش کوچکی از نیازهای عناصر پرمصرف را می‌توان با این روش تأمین کرد. خطر صدمات برگ‌ی، به‌خصوص در هوای خشک گرم، وقتی محلول به‌سرعت از سطح برگ تبخیر گشته و نمک‌های کود را به‌جای می‌گذارد، بالاست. پاشیدن محلول در روزهای خنک ابری، و یا در ساعات اولیه‌ی صبح، و یا در ساعات پایانی عصر خطر صدمات را کاهش می‌دهد. استفاده از محلول رقیق مثلاً دارای ۱ تا ۲ درصد نیتروژن نیز صدمات را کاهش می‌دهد.

۱۴-۱۶ زمان مصرف کود

زمان مصرف عناصر غذایی در مزرعه تحت سیطره‌ی چندین نکته اساسی است: (۱) قابل‌استفاده‌بودن عنصر غذایی در زمانی که نبات به آن احتیاج دارد؛ (۲) اجتناب از قابلیت استفاده زیاد، به‌خصوص در نیتروژن قبل و بعد از زمان اصلی جذب به‌وسیله‌ی گیاه؛ (۳) عنصر غذایی زمانی قابل استفاده باشد، که سبب تقویت گیاهان دارای رشد طولانی و گیاهان چندساله گردد؛ (۴) انجام عملیات صحرایی وقتی شرایط موجود انجام آن‌ها را عملی و آسان می‌کند.

¹ - Point injection

² - Drip irrigation

³ - Perforated method

⁴ - Foliar application

قابلیت استفاده عنصر غذایی وقتی گیاهان به آن نیاز دارند

برای عناصر پویا مانند نیتروژن (و تا حدی پتاسیم)، قاعده کلی مصرف کود هرچه نزدیک‌تر به زمان جذب سریع عنصر غذایی به‌وسیله‌ی نبات است. برای گیاهان سریع‌الرشد یک‌ساله‌ی تابستانه مانند ذرت، این قاعده به معنی مصرف اندکی کود به‌عنوان آغازکننده در زمان کشت، و استعمال اکثر نیتروژن به‌صورت مصرف کناری درست قبل از ورود نبات به مرحله‌ی تجمع سریع عناصر غذایی در اندام‌های خود می‌باشد، که معمولاً ۴ تا ۶ هفته بعد از کشت است. برای گیاهان فصل خنک مانند گندم زمستانه و گندمیان چمنی به‌خصوص بیشتر نیتروژن باید در بهار (سبز شدن)^۱ وقتی نباتات رشد سریع دوباره را آغاز می‌کنند، مصرف گردد. در منابع آلی کندآزادکننده عناصر غذایی باید زمانی برای معدنی‌شدن قبل از حداکثر جذب عنصر غذایی به‌وسیله‌ی گیاه در نظر گرفته شود.

مراحل حساس زیست‌محیطی

در اقلیم معتدل (یودیک و زیریک)، اکثر آبشویی عناصر در زمستان و اول بهار صورت می‌گیرد که در آن‌وقت بارندگی بالا و تبخیر و تعرق پایین می‌باشد. نترات باقی‌مانده پس از توقف جذب به‌وسیله‌ی نبات در این دوره دارای توان آبشویی می‌باشد. در این رابطه باید تذکر داد که در محصولات دانه‌ای میزان جذب عناصر غذایی در مرحله پرشدن دانه‌ها شروع به کاهش نموده، و عملاً مدت‌ها قبل از این‌که گیاه درو گردد، جذب متوقف می‌شود. در کودهای نیتروژنی شیمیایی اجتناب از وجود نترات باقی‌مانده مسأله‌ای است مهم که میزان مصرف کود را محدود به مقدار قابل‌انتظار برای جذب به‌وسیله‌ی نبات می‌کند. هرچند در منابع آلی دیرآزادکننده عناصر غذایی با مصرف کود در آخر بهار یا اول تابستان، معدنی‌شدن احتمالاً به آزادکردن نترات‌ها تا رسیدن کامل نبات و توقف جذب نبات نیز ادامه خواهد داد. اگر این زمان آزادشدن نترات غیرقابل‌اجتناب باشد، نباتات غیرنیامدار پوششی زمستانه باید برای جذب نیتروژن آزادشده اضافی و جلوگیری از آبشویی آن در خاک در پاییز کشت شوند.

تقسیم مصرف کود: در مناطقی با بارندگی زیاد و خاک‌های نفوذپذیر، تقسیم‌نمودن مقادیر زیاد کود مورد نیاز نبات به دو یا سه نوبت مصرف از هدررفت ناشی از آبشویی قبل از استقرار نظام ریشه‌ی عمیق ممانعت می‌کند. در مناطق سردسیر، یک دوره حساس زیست‌محیطی در اوایل بهار وجود دارد و آن وقتی است که ذوب برف بر روی خاک یخ‌زده و یا خاک اشباع مبدب بروز رواناب سنگین می‌شود که عناصر محلول غذایی موجود در کود دامی و یا کود شیمیایی را، که در سطح خاک و یا نزدیکی سطح خاک قرار گرفته است با خود به رودخانه‌ها حمل می‌کند.

استعمال کودهای نیتروژنی در جنگل‌های کامل هنگامی که وقوع بارندگی برای حمل عناصر به داخل خاک و به‌حداقل رساندن میزان اتلاف کود به‌وسیله‌ی فراریت قابل‌انتظار باشد انجام می‌گیرد. هرچند مشاهده‌ی نترات در جریان‌های جویباری در این جنگل‌ها اغلب بیانگر این است که چنین استعمال سبب ایجاد یک اوج درخروج نیتروژن، چندین هفته به‌دنبال مصرف کود در این حوزه‌های جنگلی شده است.

زمان مناسب فیزیولوژیکی

قابل‌استفاده‌نمودن عناصر غذایی در زمانی که سبب تقویت نبات و بهبود کیفیت آن‌ها می‌شود مسأله‌ای مهم است. برای نمونه نیتروژن خیلی زیاد در تابستان ممکن است یک چمن علفی فصل خنک را به تنش دچار سازد.

درحالی‌که نیتروژن زیاد در آخر فصل میزان قند را در گیاهان تولیدکننده‌ی قند کاهش می‌دهد. تأمین مناسب پتاسیم، به‌خصوص در پاییز، برای قادرساختن نباتات به ارتقای مقاومت زمستانی مخصوصاً مهم است. پخش سطحی کود در باغ‌داری‌ها، بلافاصله پس از غرس نهال‌ها ممکن است بیشتر برای گیاهان هرز سریع‌الرشد، درمقایسه با نهال‌های موردنظر، سودمند باشد. در جنگل‌های درحال رشد، وقتی آسمان‌های درخت کامل شده است. پخش کود به‌وسیله‌ی چرخ‌بال معمولاً می‌تواند سودمند باشد.

محدودیت عملی مزرعه

بعضی مواقع استعمال کودهای شیمیایی در زمان مناسب به سادگی امکان‌پذیر نیست. برای نمونه، یک نبات ممکن است به مصرف کناری در آخر فصل عکس‌العمل نشان دهد. اگر گیاهان خیلی بلند باشند و توان آن‌ها را بدون ایجاد خسارت برای مصرف کود کنار زد، مصرف کود مشکل خواهد بود. مصرف به‌وسیله‌ی هواپیما می‌تواند سبب قابلیت انعطاف بیشتری در این موارد گردد. مصرف در اول بهار

^۱ - Green up

ممکن است در مزارع خیلی مرطوب که تراکتور نمی‌تواند در آن‌ها کار کند محدودیت پیدا کند. هزینه‌های اقتصادی و یا زمان لازم برای انجام سایر فعالیت‌ها ممکن است نیازمند توافق قبلی در مورد زمان مصرف عناصر غذایی باشد.

۱۵-۱۶ روش‌ها و ابزارهای تشخیص

سه روش اساسی برای تشخیص مسائل حاصلخیزی خاک وجود دارد که عبارتند از: ۱) مشاهدات صحرایی ۲) تجزیه بافت گیاهی ۳) تجزیه خاک (آزمون خاک). برای راهنمایی مؤثر در مصرف عناصر غذایی، و همچنین تشخیص مسائل که در مزرعه رخ می‌دهد، هر سه رهیافت باید به‌طور جامع مورد استفاده قرار گیرند. برای ملاحظات دقیق و گزارش شواهد و علائم مزرعه‌ای جایگزینی نمی‌توان پیدا کرد. مشاهدات مؤثر و ارزیابی مسایل نیازمند مهارت و تجربه و همچنین یک فکر باز می‌باشد. غیرعادی نخواهد بود که علت یک مسأله‌ی حاصلخیزی در خاک موردنظر در واقع تراکم خاک، شرایط آب‌وهوایی، خسارت آفات و یا خطای انسانی باشد. وظیفه یک تشخیص‌دهنده، استفاده از تمام امکانات موجود برای تشخیص عامل محدودکننده‌ی رشد نبات بوده و سپس تصمیم‌گیری در مورد انجام یک سلسله اقدامات برای تخفیف محدودیت می‌باشد.

۱۶-۱۶ علایم و مشاهدات صحرایی

این فعالیت ردیابی می‌تواند یکی از جالب‌ترین و پرجالش‌ترین جنبه‌ی مدیریت عناصر غذایی باشد، برای این که تشخیص‌دهنده مؤثر حاصلخیزی خاک باشیم چند راهنمایی کلی یاری‌دهنده خواهند بود:

اول، یک روش منسجم برای ثبت مشاهدات خود تدوین کنید. ممکن است اطلاعاتی که جمع‌آوری می‌کنید برای تفسیر نتایج تجزیه‌ی خاک و گیاه که بعداً انجام خواهید داد مورد نیاز باشد.

دوم، به شیوه‌ها و حالت‌های خاص توجه کنید، چگونه مسأله به‌نظر می‌رسد که در چشم‌اندازهای اراضی و گیاهان به‌طور جداگانه توزیع یافته باشد. ممکن است شیوه خطی در یک مزرعه بیانگر مسأله‌ای مربوط به خاک‌ورزی، لوله زه‌کشی و یا توزیع غیرصحیح آهک و یا کود شیمیایی باشد. رشد ضعیف نبات در نقاط پست ممکن است مربوط به اثرات تهویه باشد. رشد ضعیف در نقاط مرتفع یک مزرعه بازتاب اثرات فرسایش و آشکارشدن مواد تحت‌الارض بایک pH نامناسب می‌باشد.

سوم، برگ‌های انفرادی نبات را برای تشخیص هر گونه علایم برگی به شدت مورد بررسی قرار دهید. کمبودهای عناصر غذایی می‌توانند علایم مشخص بر روی برگ‌ها و دیگر بخش‌های نبات ایجاد کند. نمونه‌هایی از این علایم در شکل‌های مختلف در فصول ۱۳ و ۱۵ و تابلوهای رنگی ۲۸ تا ۳۳ نشان داده شده است. مشخص کنید که علایم بر روی برگ‌های جوان‌تر (در مورد تمام عناصر کم‌مصرف فلزی) نمایان‌تر است و یا در روی برگ‌های پیر (در مورد نیتروژن، پتاسیم، و منیزیم چنین است). بعضی از کمبودهای عناصر با اعتماد کامل از روی علایم برگی قابل تشخیص است. در صورتی که بقیه عناصر علایمی تولید می‌کنند که ممکن است با خسارات علف‌کش‌ها، حشرات، و یا تهویه ضعیف اشتباه تشخیص داده شوند.

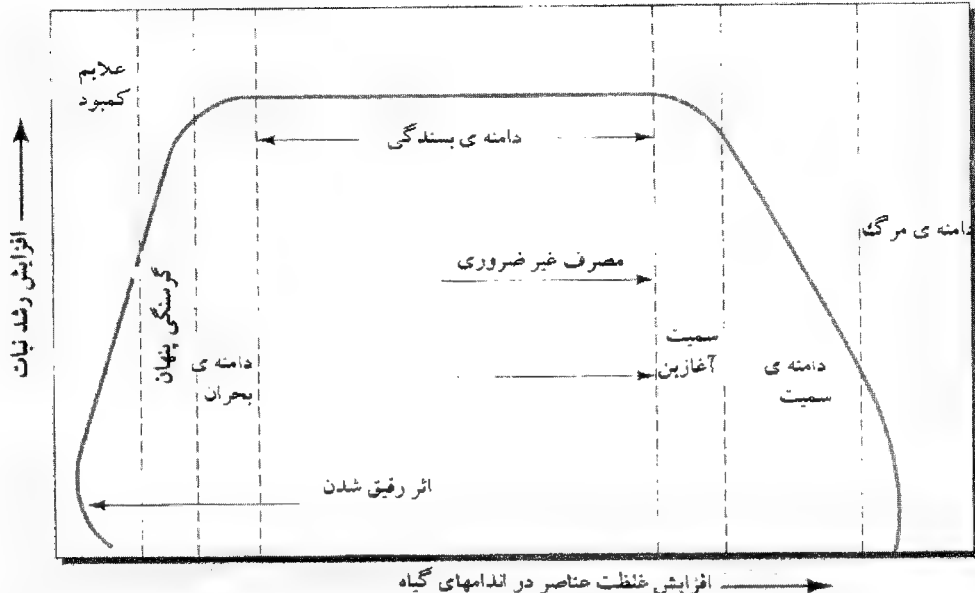
چهارم، اختلافات در رشد و عملکرد نبات را که ممکن است بازتاب سطوح مختلف حاصلخیزی خاک باشد مورد مشاهده و اندازه‌گیری قرار دهید، حتی اگر علایم برگی وجود نداشته باشد. رشد قسمت‌های فوقانی و تحتانی نبات را کنترل کنید، آیا قارچ ریشه در همزیستی با ریشه درختان وجود دارد؟ آیا نیامداران به‌خوبی گره‌دار شده‌اند؟ آیا رشد ریشه به هر شکلی محدود شده است؟

پنجم، گزارشات مربوط به رشد نبات و یا عملکرد آن‌را در سال‌های قبل به‌دست آورید و سابقه‌ی مدیریت محل را برای هر چند سال که ممکن است معلوم کنید. اغلب مفید خواهد بود که یک نقشه از محل که نشان‌دهنده چهره‌های مورد مشاهده شما و توزیع علایم است تهیه کنید.

۱۷-۱۶ تجزیه‌ی گیاه و آزمایش بافت گیاهی

تمرکز عناصر اصلی در بافت گیاهی مربوط به رشد و یا عملکرد نبات می‌باشد، که در شکل ۲۷-۱۶ نشان داده شده است. دامنه‌ی بسندگی و دامنه‌ی بحرانی عناصر غذایی برای بسیاری از نباتات، به‌خصوص برای گیاهان عمده زراعی و گیاهان باغی مشخص شده است. در مورد درختان جنگلی و زینتی، مطالب کمتر شناخته شده می‌باشد. دامنه‌ی بسندگی برای ۱۱ عنصر اساسی در تعدادی از نباتات در جدول ۱۶-۱۶ درج شده است. گیاهان با غلظت عنصر مشخص در بافت‌های آن‌ها کمتر از آن‌چه در دامنه‌ی بسندگی آن عنصر داده شده است احتمالاً به اضافه کردن آن عنصر در صورتی که عامل محدودکننده‌ی دیگری وجود نداشته باشد عکس‌العمل نشان می‌دهند.

یک آزمون گیاهی که در سالهای اخیر توجه زیادی به آن معطوف شده است عبارت از آزمون نیترات در ساقه ذرت در آخر فصل می باشد که برای بهبود مدیریت نیتروژن در ذرت به کار می رود. میزان نیترات در بخش پایین ساقه ذرت هنگام رسیدن فیزیولوژیکی نبات اندازه گیری می شود. درحالی که این آزمون می تواند کمبود نیتروژن را تشخیص دهد، در تعیین مقادیر زیادی نیتروژن نیز در هنگام برداشت سودمند است، که خود بیانگر مقادیر زیاد نیتروژن در داخل خاک است. نتایج می تواند برای نظارت بر تناسب نظام های مدیریت نیتروژن و تنظیم آن ها در آینده به کار رود.



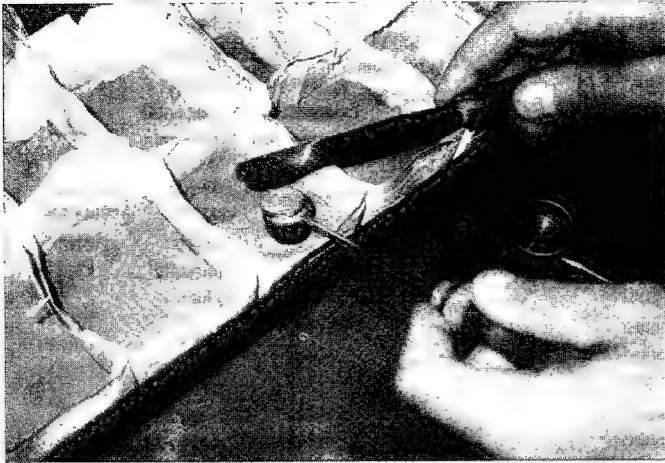
شکل ۲۷-۱۶ رابطه ی بین رشد و یا عملکرد نبات با غلظت یک عنصر غذایی اساسی در اندام گیاهی. برای اکثر عناصر غذایی یک دامنه ی نسبتاً وسیع در گیاهان سالم، معمولی وجود دارد (دامنه ی بستدگی). در خارج از این دامنه، رشد گیاهی یا از کمبود و یا از زیاده بودن عنصر غذایی کاهش خواهد یافت. دامنه ی بحرانی معمولاً برای تشخیص کمبود عنصر غذایی به کار می رود. غلظت عنصر غذایی پایین تر از دامنه ی بحرانی احتمالاً رشد گیاه را محدود می کند. گرچه علامه کمبود نیز مشاهده نشود، این سطح متوسط کمبود بعضی مواقع مرگسگی پنهان نامیده می شود. حالت حلقه مانند در پایین سمت چپ منحنی حاصل فرایندی به نام اثر رقیق شدن است که معمولاً وقتی یک نبات کاملاً از رشد بازمانده ی دارای کمبود، مقدار کمی از عنصر غذایی محدودکننده را دریافت می دارد مشاهده می شود. ممکن است واکنش رشد چنان زیاد باشد که با وجود جذب مقدار زیادی از آن عنصر، غلظت آن در جرم بسیار بیشتر نبات رقیق شود.

تجزیه ی اندام های گیاهی می تواند یک وسیله ی نیرومند برای تشخیص مسایل تغذیه ای نبات باشد به شرط آن که چند احتیاط ساده معمول گردد. اول، نمونه برداری از بخش درست نبات اساسی است. دوم، بخش مورد نظر نبات باید در مرحله ی مشخص رشد نمونه برداری شود، زیرا غلظت اکثر عناصر غذایی با رسیدن نبات به مقدار قابل ملاحظه ای کاهش می یابد. سوم، باید متوجه بود که غلظت یک عنصر ممکن است به وسیله ی عنصر دیگری تحت تأثیر قرار گیرد و بنابراین، بعضی مواقع نسبت یک عنصر غذایی به عنصر دیگر (برای نمونه منیزیم به پتاسیم، گوگرد به نیتروژن، و آهن به منگنز) ممکن است قابل اعتمادترین راهنما از حالت تغذیه ی نبات باشد. در واقع چندین نظام پیچیده ی ریاضی برای ارزیابی نسبت ها و یا تعادل در بین عناصر غذایی برای بعضی از گونه های گیاهی ارائه شده است که مفید می باشند^۱. به خاطر عدم اطمینان و پیچیدگی در تفسیر اطلاعات مربوط به غلظت عناصر در اندام گیاهی، عاقلانه این است که از نباتات از بهترین و بدترین مناطق مزرعه و یا وضعیت ظاهری آن ها نمونه برداری شود. اختلاف در بین این نمونه ها ممکن است کلیدهای باارزشی در ارتباط با سرشت عناصر غذایی به دست دهد.

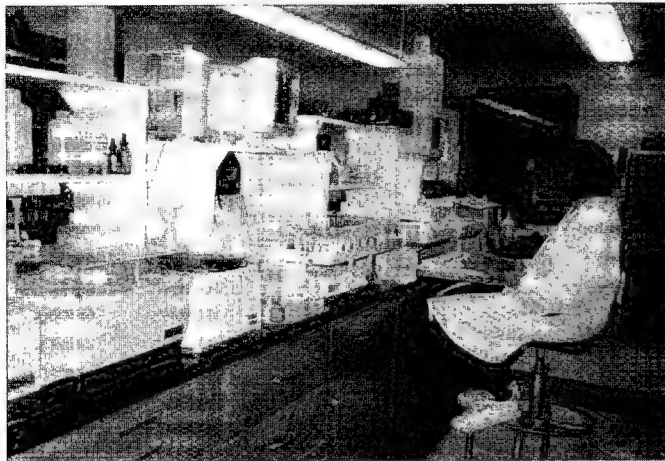
^۱ تکامل یافته ترین نظام نسبت چندعنصری با عنوان نظام جامع توصیه های تشخیصی (Diagnostic Recommendation Integrated System) DRIS مشهور است که توسط Sumner تکامل یافته است.

جدول ۱۶-۱۶ رامنسای برای تجزیه‌ی اندام نباتی از گریدهای گونه‌های گیاهی (ارقام داده شده مربوط به دامنه‌ی کفایت می‌باشد)

گونه گیاهی	اندام مورد نمونه‌برداری و زمان	نیترژن %	فسفر %	پتاسیم %	کلسیم %	منیزیم %	گوگرد %	آهن $\mu\text{g/g}$	مگنز $\mu\text{g/g}$	روی $\mu\text{g/g}$	بسر $\mu\text{g/g}$	مس $\mu\text{g/g}$
درخت کاج <i>Pinus spp</i>	برگ‌های سوزنی سال جاری در انتهای شاخه	۱/۲-۱/۴	۰/۱-۰/۱۸	۰/۳-۰/۴۵	۰/۳-۰/۱۶	۰/۵-۰/۰۹	۰/۰۸-۰/۱۲	۲۰-۱۰۰	۵۰-۶۰۰	۲۰-۵۰	۳-۹	۲-۶
علف چمنی	چمن تراشیده	۷/۵-۳/۵	۰/۳-۰/۵۵	۱-۷/۵	۰/۵-۱/۲	۰/۲-۰/۶	۰/۲-۰/۴۵	۳۵-۱۰۰۰	۲۵-۱۵۰	۲۰-۵۵	۱۰-۶۰	۵-۲۰
ذرت <i>Zea mays</i>	برگ بلال در کاکل دهی	۷/۵-۳/۵	۰/۲-۰/۵	۱/۵-۳	۰/۲-۱	۰/۱۶-۰/۴	۰/۱۶-۰/۵	۲۵-۳۰۰	۲۰-۲۰۰	۲۰-۷۰	۶-۴۰	۶-۴۰
سویا <i>Glycine max</i>	سه برگی - مرحله گلدهی	۴-۵	۰/۳۱-۰/۵	۲-۳	۰/۴۵-۲	۰/۲۵-۰/۵۵	۰/۲۵-۰/۵۵	۵۰-۲۵۰	۳۰-۲۰۰	۲۵-۵۰	۲۵-۶۰	۸-۲۰
سیب <i>Malus spp</i>	برگ از پایه شاخه‌های بدون گل (نبوه)	۱/۸-۷/۴	۰/۱۵-۰/۳	۱/۲-۲	۱-۱/۵	۰/۲۵-۰/۵	۰/۱۳-۰/۳	۵۰-۲۵۰	۳۵-۱۰۰	۲۰-۵۰	۲۰-۵۰	۵-۲۰
گندم <i>Triticum spp</i>	اولین برگ در بالای بوته	۷/۲-۳/۳	۰/۲۴-۰/۳۶	۲-۳	۰/۸۸-۰/۴۲	۰/۱۹-۰/۳	۰/۲-۰/۳	۳۵-۵۵	۳۰-۵۰	۲۰-۳۵	۵-۱۰	۶-۱۰
گوجه‌فرنگی <i>Lycopersicon esculentum</i>	برگ تازه رسیده در اوایل گلدهی	۳/۲-۴/۸	۰/۳۲-۰/۴۸	۷/۵-۴/۷	۱/۷-۴	۰/۴۵-۰/۷	۰/۶-۱	۱۲۰-۲۰۰	۸۰-۱۸۰	۳۰-۵۰	۳۵-۵۵	۸-۱۲
بونه <i>Medicago sativa</i>	۱/ بخش فوقانی نبات در گلدهی اول	۳-۴/۵	۰/۲۵-۰/۵	۲/۵-۳/۸	۱-۲/۵	۰/۳-۰/۸	۰/۳-۰/۵	۵۰-۲۵۰	۷۵-۱۰۰	۷۵-۷۰	۶-۲۰	۲۰-۸۰



شکل ۲۸-۱۶ (بالا) بعد از آن‌که یک نمونه خاک به وسیله‌ی آزمایشگاه تجزیه‌ی خاک دریافت گردید، خاک کوبیده شده و برای ایجاد یک گرد یکنواخت الک می‌شود. سپس مقدار کمی از آن وزن شده مورد تجزیه شیمیایی قرار می‌گیرد. این نمونه‌ی کوچک باید معرف هزاران تن خاک در مزرعه باشد. (پایین) بعد از این‌که بخشی از عناصر غذایی در نمونه عصاره‌گیری شد، محلول حاوی این عناصر غذایی تحت تجزیه قرار می‌گیرد. از آن‌جاکه آزمایشگاه‌های خاک‌شناسی روزانه باید صدها و یا هزارها نمونه را تجزیه کنند، تجزیه‌ها معمولاً خودکار شده و نتایج به‌وسیله‌ی رایانه ثبت و تفسیر می‌شود.



۱۶-۱۸ آزمون خاک

از آن‌جاکه مقدار کل یک عنصر غذایی در خاک اطلاعات اندکی درباره توانایی خاک و تأمین آن عنصر برای جذب به‌وسیله‌ی نبات به‌دست می‌دهد، روش معنی‌دارتر تجزیه‌ی جزئی^۱ خاک ابداع شده است. آزمون خاک خود یک نوع تجزیه‌ی جزئی معمول است که برای هدایت مدیریت عناصر غذایی انجام می‌شود.

فرایند آزمون خاک شامل ۳ مرحله‌ی اساسی است (۱) نمونه‌برداری از خاک (۲) تجزیه‌ی شیمیایی نمونه و (۳) تفسیر نتایج تجربه برای توصیه نوع و مقدار عناصر غذایی مورد استفاده.

نمونه‌برداری از خاک^۲

عده زیادی از نمونه‌برداری خاک به‌عنوان یکی از ضعیف‌ترین حلقه‌های فرایند آزمون خاک نام می‌برند. بخشی از مسأله بدین علت است که یک قاشق چای‌خوری خاک (شکل ۲۸-۱۶) نهایتاً به‌عنوان معرف میلیون‌ها کیلوگرم خاک در طبیعت مورد آزمون قرار می‌گیرد. از آن‌جاکه خاک‌ها هم در مقیاس افقی و هم قائم بسیار متغیرند، ضروری است که توصیه‌های نمونه‌برداری را از آزمایشگاه‌های آزمون خاک به‌دقت به‌کار ببندیم.

به‌دلیل وجود تغییرات در میزان عناصر غذایی در نقاط مختلف، اغلب مصلحت این است که یک مزرعه و یا محدوده‌ی ملکی را تا آن‌جا که عملی است هنگام برداشت نمونه‌های خاک برای تعیین میزان عناصر غذایی به مناطق مجزا تقسیم نمود. برای مثال، فرض کنید که یک مزرعه ۲۰ هکتاری دارای ۲ هکتار زمین پست، در وسط و ۵ هکتار در گوشه‌های آن است که برای مرتع استفاده می‌شود. از این دو منطقه باید جدا از باقی اراضی مزرعه نمونه‌برداری به‌عمل آمده و جدا از باقی مزرعه بعداً مورد مدیریت قرار

^۱ - Partial analysis

گیرند. یک مالک خانه شخصی به‌طور مشابه باید از بستر گل‌های خود جدا از مناطق چمن‌کاری، و از مناطق پست جدا از مناطق شیب‌دار و غیره نمونه بردارد. از طرف دیگر باید از برداشت نمونه در اراضی با خاک‌های غیرمعمول که برای اعمال مدیریت جداگانه بسیار کوچک و قناس هستند اجتناب کرده و در نمونه‌برداری مرکب از سطح مزرعه مورد نظر قرار نگیرند.

نمونه‌ی مرکب: معمولاً یک نمونه‌بردار لوله‌ای برای برداشت یک نمونه استوانه‌ای حداقل از ۱۵ تا ۲۰ نقطه پراکنده در سطح زمین مورد بررسی مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۲۹-۱۶). ۱۵ تا ۲۰ نمونه‌ی فرعی در یک سطل پلاستیکی کاملاً مخلوط شده و حدود نیم لیتر خاک آن در یک ظرف برچسب‌دار قرار داده و به آزمایشگاه فرستاده می‌شود. اگر خاک مرطوب باشد، باید قبل از بسته‌بندی برای تجزیه بدون در معرض قرارگرفتن آفتاب و حرارت، در هوا خشک گردد. ممکن است حرارت‌دادن نمونه نتایج نادرست برای عناصر خاص ارائه کند.

هنگام نمونه‌برداری از خاک باید به دو سوال پاسخ داده شود: (۱) تا چه عمقی باید نمونه‌برداری گردد، و (۲) چه وقتی از سال باید نمونه برداشت گردد.

عمق نمونه‌برداری: عمق استاندارد برای نمونه‌برداری از یک خاک شخم‌خورده عمق لایه‌ی شخم یعنی ۲۰-۱۵ سانتی‌متر است. گرچه تا اعماق دیگری نیز می‌توان در مواردی نمونه‌برداری کرد (شکل ۲۹-۱۶). از آن‌جاکه در بسیاری از خاک‌های شخم نخورده عناصر غذایی در لایه‌های مغایر باهم توزیع یافته‌اند، عمق نمونه‌برداری می‌تواند نتایج حاصل را به مقدار زیادی تغییر دهد.

چه زمانی از سال: تغییرات فصلی معمولاً در نتایج تجزیه خاک در یک مزرعه مشاهده می‌شود. برای نمونه میزان پتاسیم معمولاً در اول بهار، به‌دنبال یخ‌زدن آب و ذوب آن به‌دلیل آزادشدن مقدار پتاسیم تثبیت‌شده در بین لایه‌های رس، در بالاترین مقدار، و در تابستان، بعد از برداشت اکثر پتاسیم قابل‌استفاده آزادشده، در کمترین مقدار است. زمان نمونه‌برداری به‌خصوص اگر مقایسه‌ای در مورد عناصر سال به سال به‌عمل آید، بسیار مهم خواهد بود. روش خوب این است که در هر مزرعه هر سال و یا هر دو سال یکبار (اغلب در همان موقع سال) نمونه‌برداری انجام گیرد تا مقادیر حاصل از تجزیه‌ی خاک در طول سال‌ها بتواند برای آن‌که مشخص کند میزان عناصر غذایی حفظ گردیده، افزایش یافته و یا تخلیه گردیده است مورد ارزیابی قرار گیرد.

زمان نمونه‌برداری برای آزمون اختصاصی نیتروژن: زمان نمونه‌برداری در تعیین مقدار نیتروژن معدنی‌شده در منطقه ریشه حیاتی است. در مناطق نسبتاً خشک و سرد (دشت‌های بزرگ آمریکا) آزمون نترات باقی‌مانده در نمونه‌های با عمق ۶۰ سانتی‌متر در فاصله زمانی بین پاییز و قبل از کشت بهار انجام می‌شود. در مناطق مرطوب که آبشویی نترات خیلی شدیدتر است یک آزمون برای تعیین این‌که خاک نیتروژن کافی برای محصول ذرت آزاد می‌کند و یا نه ابداع گردیده است. در این آزمون (آزمون قبل از جای‌گذاری کناری نترات)^۱ از ۳۰ سانتی‌متری فوقانی خاک وقتی ذرت حدود ۳۰ سانتی‌متری ارتفاع دارد، و درست زمان واقعی برای تعیین مقدار نیتروژن مورد نیاز نبات هنگام ورود آن به سریع‌ترین دوره‌ی جذب می‌باشد نمونه‌ها برداشت می‌شوند. در این مورد خاک باید در زمان بسیار کوتاه، وقتی معدنی‌شدن بهار به حداکثر رسیده اما جذب گیاهی هنوز برای تخلیه‌ی نترات خاک آغاز نگردیده نمونه‌برداری گردد (شکل ۶-۱۳ را مشاهده کنید).

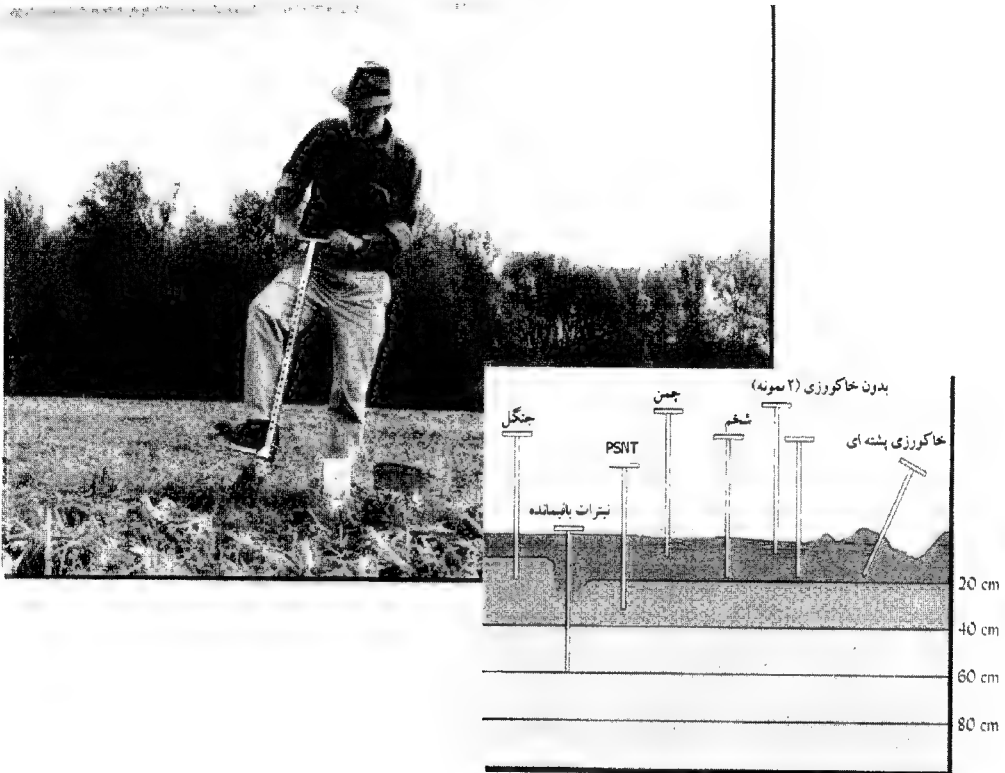
تجزیه شیمیایی نمونه خاک

آزمون خاک به‌طور کلی بر آن است که از خاک مقدار عناصر غذایی اصلی را که در همبستگی با عناصر جذب شده به‌وسیله‌ی نبات است استخراج کند. محلول‌های مختلف عصاره‌گیری به‌وسیله‌ی آزمایشگاه‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته‌اند، محلول‌های نمک بافر مانند استات سدیم و یا استات آمونیوم و یا مخلوطی از اسیدهای ضعیف و عوامل کیلات برای عصاره‌گیری بیشتر از بقیه معمول می‌باشند، عصاره‌گیری با قراردادن مقدار اندکی خاک وزن شده در یک بطری همراه عامل عصاره‌گیری و تکان‌دادن مخلوط برای مدت زمان معینی به انجام می‌رسد، سپس مقدار عناصر غذایی مختلف که به‌داخل محلول وارد می‌شوند تعیین می‌گردد. کل فرایند معمولاً چنان خودکار گردیده است که یک آزمایشگاه امروزی می‌تواند صدها نمونه را در هر روز تجزیه کند.

معمول‌ترین آزمون‌های مرسوم و قابل اعتماد برای pH، پتاسیم، فسفر و منیزیم انجام می‌شود. عصاره‌ی عناصر کم‌مصرف بعضی مواقع با استفاده از عامل کیلات به‌خصوص در خاک‌های آهکی در مناطق خشک تهیه می‌گردد. برآورد قابلیت استفاده

^۱ - Pre Sidedress Nitrate Test (PSNT)

نیتروژن. گوگرد به طور قابل ملاحظه‌ای مشکل‌تر می‌باشد، زیرا بسیاری از عوامل زیستی در آن دخالت دارند، اما نیترات و سولفات موجود در خاک فقط در زمان نمونه‌برداری اندازه‌گیری می‌شود.



شکل ۲۹-۱۶ برداشت نمونه خاک در مزرعه اغلب پر اشتباه‌ترین مرحله از فرایند آزمون خاک است زیرا خصوصیات خاک در ارتباط با عمق و محل با محل حتی در یک مزرعه به نظر یکنواخت متفاوت است. از مناطقی که به طور آشکار غیریکنواخت می‌باشند (نقاط مرطوب، نقاطی که کود دامی تل‌انبار شده است و نقاط فرسایش یافته) باید اجتناب کرد. (پایین) عمق مناسب نمونه‌برداری در ارتباط با هدف آزمون خاک و سرشت خاک است، بعضی از عمق‌های پیشنهاد شده در موقعیت‌های مختلف نشان داده شده است.

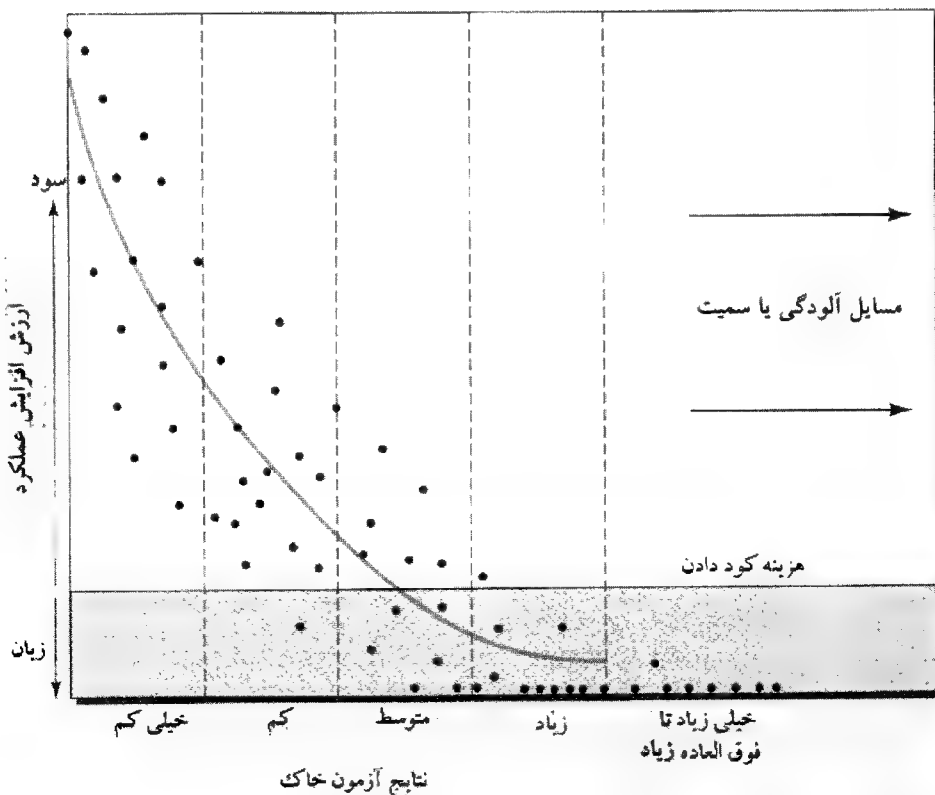
از آن‌جا که ممکن است این که روش‌های مورد استفاده به وسیله‌ی آزمایشگاه‌های مختلف برای خاک‌های مختلف متفاوت باشند، منطقی این است که نمونه خاک به آزمایشگاهی در همان منطقه فرستاده شود که خاک در آنجا نمونه‌برداری شده است، زیرا این آزمایشگاه بیشتر روش‌هایی را به کار می‌گیرد که برای خاک‌های منطقه مربوط به خود مناسب بوده و احتمال دسترسی به اطلاعات همبستگی نتایج آزمایش‌ها را با عکس‌العمل نبات به خاکی از همان نوع داشته باشد.

آزمون‌های خاک طراحی شده برای استفاده در خاک مزرعه و یا خاک‌های مورد مصرف در گلدان معمولاً نتایج معنی‌داری در هنگام استفاده در گلدان‌های متکی به پیت مصنوعی فاقد خاک به دست نمی‌دهند. روش‌های خاص عصاره‌گیری در این مورد آخر باید به کار برده شده و آن وقت همبستگی نتایج با جذب عناصر غذایی و رشد نبات در محیط مشابه تعیین گردد. این مثال‌ها اهمیت ارائه‌ی اطلاعات کامل را در مورد سرشت نمونه خاک مورد نظر، سابقه‌ی مدیریت و برنامه موجود برای استفاده آبی را به آزمایشگاه‌ها نیز روشن می‌سازد.

تفسیر نتایج برای انجام توصیه کودی

این مرحله یکی از بحث‌برانگیزترین جنبه‌های آزمون خاک است. ارقام آزمون خاک تنها یک شاخص از توان تأمین عناصر غذایی است و مقدار عناصر را که تأمین خواهند شد تعیین نخواهد کرد. به این دلیل، بهترین راه این است که نتایج آزمون خاک بیشتر به صورت کیفی در نظر گرفته شوند.

لازم است آزمایش‌های صحرایی در نقاط مختلف برای سال‌های طولانی انجام شود تا مشخص کنیم کدام سطح آزمون خاک بیانگر ظرفیت کم، متوسط، یا زیاد تأمین عناصر غذایی مورد بررسی می‌باشد. به همین ترتیب، این گروه‌بندی‌ها برای پیش‌بینی کسب عکس‌العمل سودمند از مصرف عناصر غذایی مورد آزمون به کار می‌رود (شکل ۱۶-۳۰).



شکل ۱۶-۳۰ رابطه‌ی بین نتایج آزمون خاک در مورد یک عنصر غذایی و عملکرد اضافی به دست آمده با کوددادن با همان عنصر غذایی. هر نقطه اطلاعاتی معرف اختلاف در بین عملکرد نبات در خاک کود خورده و کود نخورده می‌باشد. به دلیل آن‌که بسیاری از عوامل در عملکرد مؤثرند و به خاطر آن‌که آزمون خاک فقط به طور تقریبی قابلیت استفاده عنصر را پیش‌بینی می‌کند، رابطه خیلی دقیق نیست، اما نقاط اطلاعاتی در اطراف خط همبستگی پراکنده می‌باشد. اگر نقطه بالاتر از خط هزینه‌ی کود باشد عملکرد اضافی دارای درآمد بیشتری از هزینه کود بوده و سودی حاصل خواهد شد. در آزمون خاک در گروه‌بندی کم و خیلی کم، عکس‌العمل سودآور به مصرف کود محتمل خواهد بود. و در گروه‌بندی متوسط، احتمال عکس‌العمل سودآور ۵۰:۵۰ و در گروه‌بندی بالا، عکس‌العمل سودآور محتمل نیست.

توصیه‌های کودی، دانش عملی در گیاهان مورد کشت، خصوصیات خاک مورد مطالعه و سایر شرایط محیطی را موردنظر قرار می‌دهند. سابقه مدیریت و مشاهدات صحرایی می‌تواند در تعیین ارتباط اطلاعات آزمون خاک با مصرف کود به ما کمک کنند. تفسیر نتایج آزمون خاک به وسیله‌ی کارشناس فنی و آزموده با تجربه، که به طور کامل اصول علمی مهم در عملیات معمول مزرعه‌ای را درک می‌کنند، به خوبی قابل انجام است. در آزمایشگاه‌های نوین عواملی که باید در انجام توصیه‌های کودی مورد ملاحظه قرار گیرند در یک رایانه برنامه‌ریزی شده است، و تفسیر برای استفاده‌ی زارع و یا باغ‌دار چاپ می‌شود (شکل ۱۶-۳۱).

ارزش آزمون خاک

از بحث قبلی نباید چنین استنتاج گردد که محدودیت‌های آزمون خاک از مزایای آن بیشتر است. وقتی احتیاط‌هایی که قبلاً تشریح گردید مورد ملاحظه قرار گیرند، آزمون خاک یک وسیله‌ی ارزشمند برای انجام توصیه‌های کودی می‌باشد. وقتی همبستگی اطلاعات آزمون خاک با نتایج آزمایش‌های کودی صحرایی مشخص شود، این اطلاعات دارای بالاترین فایده خواهند بود (شکل ۱۶-۳۲).

گزارش آزمون خاک

دانشگاه ابرن

ساکن آلاباما

نام متقاضی

آزمایشگاه آزمون خاک

نشانی ۱۱۸ خیابان اصلی

دانشگاه ابرن- آلاباما ۳۶۸۴۹

شهر آلاباما ۳۶۸۳۰

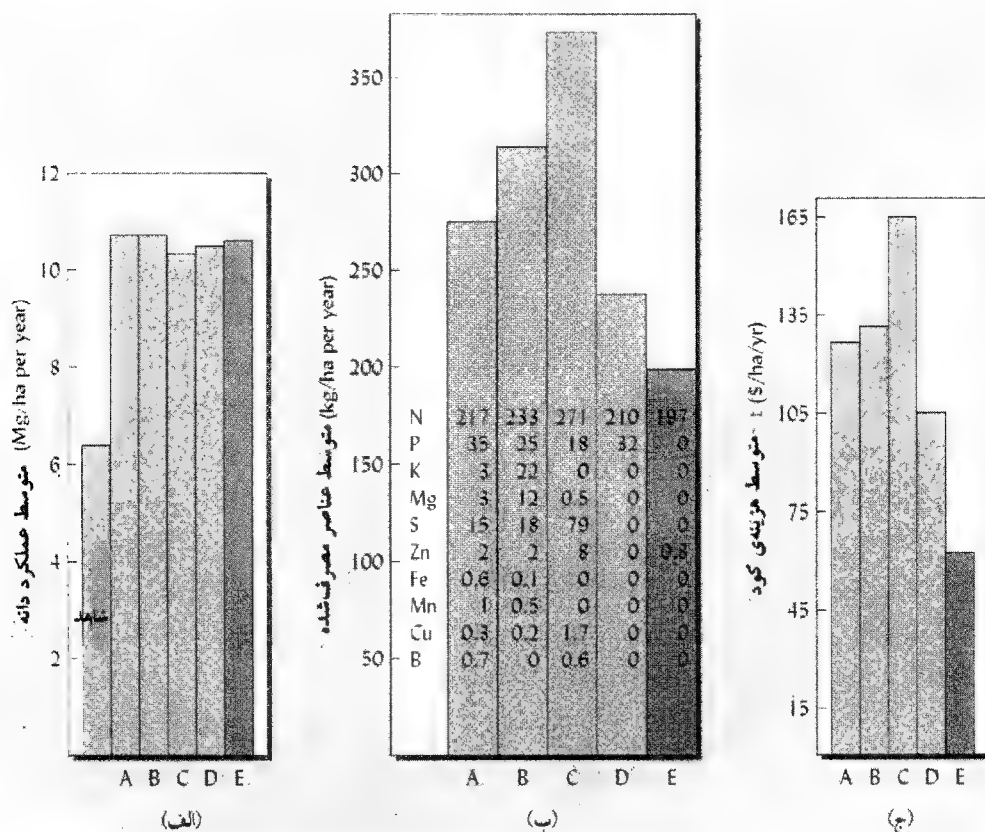
شهرستان لی

بخش ۲/

شماره ی آزمایشگاه	شماره ی خاک فرستنده	نباتی که باید کشت شود	گروه خاک*	نتایج تجزیه ی خاک				توصیه ها			
				pH**	P***	K***	Mg***	آهک، تن در	N، پوند در	P ₂ O ₅ ، پوند در	K ₂ O، پوند در
۲۳۸۸۷	۱	سویا	۲	۵/۳	کم ۷۰	متوسط ۷۰	زیاد ۱۶۰	۲	۰	۸۰	۴۰
نظریه ۲۲۴-اسیدیته خاک می تواند با استفاده از آهک دولومیتی یا کلسیتی اصلاح گردد.											
۲۳۸۸۸	۲	ذرت	۱	۵/۶	کم ۷۰	متوسط ۷۰	زیاد ۱۶۰	۱	۱۲۰	۸۰	۴۰
نظریه ۲۲۴ فوق مشاهده شود.											
نظریه ۱۵- ممکن است ذرت در خاک های شنی به مقدار زیاد نیتروژن با ۱۵۰ پوند در ایکر عکس العمل نشان دهد در خاک های شنی ۳ پوند روی در کود بعد از آهک دادن و یا وقتی pH بالای ۶ باشد مصرف کند.											
۲۳۸۸۹	۳	بایا	۱	۶	متوسط ۱۰۰	زیاد ۱۴۰	زیاد ۲۴۰	۰	۶۰	۴۰	۰
۲۳۸۹۰	باغ	سبزی ها	۳	۵/۲	متوسط ۹۰	متوسط ۷۰	زیاد ۱۶۰	۳	۱۲۰	۱۲۰	۱۲۰
نظریه ۲۲۴ فوق مشاهده شود.											
نظریه ۸۲- در هر ۱۰۰ متر ردیف کشت ۶ پوند کود ۸-۸-۸ (۳ کوارت) در هنگام کشت و ۴ پوند از کود ۸-۸-۸ (۲ کوارت) به صورت جای گذاری کناری مصرف کنید.											
*** در مراتع گندمیان تابستانه فسفر و پتاس را مطابق توصیه استعمال کنید ۶۰ پوند نیتروژن قبل از شروع رشد تا اول سپتامبر به کار ببرید. مصرف نیتروژن را وقتی رشد بیشتر مورد نظر است تکرار کنید.											
*** ۱ تن آهک در ایکر حدوداً مساوی ۵۰ پوند در ۱۰۰۰ فوت مربع است.											
*** برای کلم گل بروکسل، و گیاهان ریشه ای ۱ پوند بر (B) در ایکر به کار ببرید. برای باغچه های منازل یک فاشق غذاخوری بوراکس در ۱۰۰ فوت ردیف کشت مصرف کنید.											
*۱- خاک های شنی ۲- لوم و رس سبک ۳- رس سنگین به استثنای سری کمر بند سیاه ۴- رس سنگین سری کمر بند سیاه											
** ۶/۵ و یا کمتر اسیدی ۷/۴ و یا بیشتر قلیایی ۵/۵ و پایتتر خیلی اسیدی ۶/۶-۷/۳ خنثی											
*** درجه بندی و حاصلخیزی (درصد کفایت)											
نمونه ی آزمون خاک B											

شکل ۳۱-۱۶ نمونه ای از یک گزارش آزمون خاک که ارقام آزمون خاک و توصیه های مصرف کود و آهک را ارائه می دهد

کاربرد آزمون خاک در نظام‌های کشاورزی از اهمیتی فراوان برخوردار است. درحالی‌که ثابت شده است که تجزیه‌ی برگی در جنگل بسیار مفید می‌باشد. محدودیت استفاده از آزمون خاک در جنگل احتمالاً در نتیجه‌ی لایه‌بندی پیچیده خاک‌های جنگلی است که سبب ایجاد عدم اطمینان بالا در مورد نحوه انتخاب یک نمونه معرف از خاک برای تجزیه می‌شود. همچنین به دلیل چهارچوب زمانی طولانی رشد جنگل، درمقایسه، اطلاعات اندکی در مورد همبستگی سطوح آزمون خاک با عملکرد چوب وجود دارد، درحالی‌که این اطلاعات در گیاهان زراعی به مقدار زیادی موجود است (شکل ۳۰-۱۶ را مطالعه کنید). با وصف این که رابطه بین رشد درخت و سطح آزمون خاک برای اکثر نظام‌های جنگلی به خوبی شناخته شده نیست، آزمون خاک استاندارد زراعی هنوز می‌تواند در تشخیص خاک‌هایی که توانایی آن‌ها برای تأمین P و K در مقایسه با خاک‌هایی که دارای توان اندک تأمین این عناصر هستند سودمند باشد.



شکل ۳۲-۱۶ الف عملکرد ذرت در کرت‌های آزمایشی در نزدیک پالت شمالی^۱ در ایالت نبراسکا که ۵ میزان مختلف کود که به وسیله‌ی ۵ آزمایشگاه خاک‌شناسی توصیه شده‌اند دریافت می‌دارند (A-E). اطلاعات متوسط ۶ سال است. سری خاک لوم سیلتی کوزاد (فلوتیک هاپلوستول)^۲ می‌باشد. ب مقادیر مختلف عناصر غذایی که به وسیله‌ی این آزمایشگاه‌ها توصیه شده است. و چ هزینگی سالانه کود مصرف شده است. توجه داشته باشید که عملکرد در تمام کرت‌های کودخورده حدوداً مساویند. گرچه میزان مصرف کود شیمیایی به‌طور چشم‌گیر متفاوت بود. میزان کود سفارش شده به وسیله‌ی آزمایشگاه E از فرضیه سطح کفایت براساس همبستگی آزمون خاک با عملکردهای صحرایی استفاده نموده است. توصیه‌های انجام شده به وسیله‌ی آزمایشگاه‌های A-D یا براساس فرضیه نگهداری است که نیازمند جایگزینی تمام عناصر غذایی برداشت شده به وسیله‌ی ثبات یا براساس نیاز نگهداری نسبت مجموعی کاتیونها (Ca/Mg, Ca/K, Mg/K) بوده است. فرضیه سطح کفایت به‌طور آشکار نتایج باصرفه‌تری را در این آزمایش به دست آورد. بر اساس این آزمایش، و مقایسه با بسیاری از آزمایش‌های مشابه دیگر، اکثر آزمایشگاه‌های خاک‌شناسی راهیافت سطح کفایت را انتخاب کرده‌اند.

¹ - North Platte

² - Cozad silt loam (Fluentic Haplustoll)

۱۶-۱۹ مدیریت عناصر غذایی در نقاط خاص

فناوری‌های رایانه‌ای اخیراً با نظام جابایی جهانی^۱ (GPS) ماهواره‌های گزارشگر در دور زمین (بخش ۳-۱۹ را مطالعه کنید) برای مدیریت عناصر غذایی در نقاط خاص بیشتر از آن‌چه قبلاً در عملیات بزرگ مزرعه‌ای عملی بود تلفیق گردیده است. دریافت‌کننده‌های جی‌پی‌اس می‌توانند موقعیت دقیق هر محلی (در حدود ۵ تا ۱۰ متر) را با حرکت در عرض یک مزرعه بزرگ مشخص سازند. بنابراین، در نمونه‌برداری، موقعیت هر نمونه می‌تواند با توجه به جهت‌های شمال-جنوب و شرق-غرب در روی کمره‌ی زمین مشخص گردد. در عمل یک مزرعه بزرگ به واحدهایی در یک نظام شبکه‌ای تقسیم می‌شود. هر جزء واحد معمولاً حدود یک هکتار وسعت دارد. بنابراین، ۲۰ نمونه جداگانه خاک موقعیت‌یابی شده در روی کره زمین (هرکدام نمونه مرکبی از حدود ۱۵ تا ۲۰ نمونه است) می‌تواند از یک زمین ۲۰ هکتاری برداشت شود (شکل ۳۳-۱۶). توصیه‌های مصرف کودی که از نتایج آزمون خاک همراه با دیگر اطلاعات به‌دست آمده‌اند می‌تواند با استفاده از برنامه‌های آماری رایانه‌ای برای تخمین محل مرزها در بین نقاط با درجات حاصلخیزی بالا، متوسط و پایین بر روی یک نقشه ترسیم گردند. این نقشه حاصلخیزی خاک می‌تواند با نقشه سایر متغیرین مکانی مانند نقشه‌ی طبقه‌بندی خاک، سابقه‌ی مدیریت، رقم‌های زراعی (که قرار است کشت شوند) و غیره تلفیق گردد.

با استفاده از این نقشه‌ها و تجهیزاتی که دارای امکانات استعمال مقادیر مختلف کود در یک برنامه رایانه‌ای که در تلفیق با نظام ماهواره‌ای است، تغییر میزان مصرف کود به‌طور خودکار با حرکت کودپاش در مزرعه ممکن می‌گردد. سطحی از مزرعه که نشان‌دهنده‌ی مقادیر کم عناصر غذایی است، مقادیر کود بیشتری از حد متوسط استعمال کود دریافت داشته، درحالی‌که سطحی از مزرعه که دارای مقادیر زیاد عناصر غذایی است کود اندکی دریافت می‌دارد. مقدار کل کود به‌کار رفته خیلی با میزان مصرف در گذشته تفاوت ندارد اما مقادیر استعمال در ارتباط نزدیک‌تر با نیاز گیاهان و احتیاط‌های زیست‌محیطی می‌باشند.

هنگام برداشت محصول ارتباط‌های ماهواره‌ای رایانه‌ای مشابه برای نظارت عملکرد در بخش‌های مختلف مزرعه و ایجاد نقشه‌هایی که نشان‌دهنده‌ی تفاوت عملکردها است به‌کار می‌رود. با تلفیق نقشه‌ی عملکرد با نقشه‌ی عناصر غذایی خاک، امکان تعیین میزان محدودیتی که کمبود عناصر غذایی بر عملکرد اعمال می‌کنند فراهم می‌شود.

این نظام مدیریت عناصر غذایی در نقاط خاص مزرعه بخشی تلفیقی از آن‌چه به‌عنوان کشت‌وکار دقیق نامبرده می‌شود^۲ می‌باشد. فرصت‌های مغتنمی برای مبارزه با حشرات و علف‌های هرز، و تغییر میزان و عمق بذر می‌تواند براساس نقاط خاص مزرعه، نه برپایه‌ی کل مزرعه، فراهم گردد. ممکن است چنین نظام‌های رایانه‌ای متکی به جی‌پی‌اس از نظر اقتصادی برای تمام زارعین مقرون‌به‌صرفه نباشد، اما استفاده از آن‌ها به‌خصوص در بین زارعینی که دارای امکان دست‌یابی به کارگزاری با تخصص رایانه‌ای و تجهیزات مناسب می‌باشند درحال گسترش است. ممکن است کشت‌وکار دقیق کمک کند تا مطمئن شویم عناصر غذایی فقط در جایی مصرف می‌شوند که برای تولید محصولات مورد نیاز می‌باشند. جدول ۱۷-۱۶ برآوردهایی از سودهای اقتصادی که ممکن است با استفاده از مدیریت خاص محلی نیتروژن در زراعت ذرت در شهرستان‌های مختلف در ایالت آیوا، به‌دست آید، نشان می‌دهد. اکثر منافع از کاهش مقدار کل نیتروژن مصرف‌شده به‌دست خواهد آمد.

۱۶-۲۰ جنبه‌هایی گسترده‌تر از عملیات کوددادن

عملیات کوددادن شامل بسیاری از جزئیات پیچیده در مورد خاک‌ها، گیاهان و کودها می‌باشد. به‌خاطر تفاوت زیاد این سه عامل در نقاط مختلف، مشکل است که به یک جمع‌بندی کلی در مورد استفاده از کود دسترسی یابیم. هرچند به‌خاطر چشم‌گیربودن عکس‌العمل در اکثر گیاهان غیرنیامدار و به‌خاطر کاربرد آن در کیفیت محیط زیست، در اکثر طرح‌های مصرف کود، توجه اولیه معمولاً بر نیتروژن متمرکز می‌گردد. استعمال فسفر و پتاسیم برای ایجاد تعادل و تکمیل عرضه‌ی نیتروژن چه از خاک، پس‌مانده‌های گیاهی (به‌خصوص نیامداران)، ضایعات آلی و یا دادن کودهای شیمیایی انجام می‌شود.

^۱ - Global Positioning System (GPS)

^۲ - Precision farming , Precise agriculture

چون برآورد توان تأمین نیتروژن یک خاک با انجام آزمایش‌های شیمیایی بسیار مشکل است، توصیه‌های کود شیمیایی نیتروژنی معمولاً براساس آزمایش‌های مزرعه‌ای می‌باشد، که رابطه‌ی بین نیتروژن اضافه‌شده و رشد گیاه و یا عملکرد آن را مشخص می‌کند معمولاً این مطالعات مزرعه‌ای در مقداری از خاک‌ها و در شرایط آب و هوایی (سبب می‌شود پاسخ نیتروژن در یک‌سال نسبت به سال دیگر بسیار متفاوت باشد) مختلف انجام می‌شود

جدول ۱۶-۱۷ افزایش درآمد برآوردشده‌ی زارع نسبت به هزینه‌های کود با استفاده از فناوری خاص محل در تولید ذرت در ۱۲ ناحیه‌ی ایالت ایلوا و درصد افزایش ناشی از حذف کود اضافی و یا کودندادن کافی نیتروژن. مشخص نیست که آیا این افزایش درآمد برای جبران هزینه‌های این فناوری کافی است یا نه.

شهرستان	افزایش درآمد نسبت به هزینه کود \$ در هکتار	درصد ناشی از حذف مصرف بیش از حد نیتروژن	درصد ناشی از کودندادن کافی نیتروژن
Adir	۱۸/۸۷	۹۳	۷
Black Hawk	۸/۶۹	۹۳	۷
Caroll	۱۰/۷۷	۷۰	۳۰
Henry	۸/۶۸	۹۳	۷
Honcock	۱۱/۴۸	۸۶	۱۴
Hamilton	۹/۸۸	۷۳	۲۷
Poweshick	۱۴/۳۵	۸۲	۱۸
Porlawattamie	۱۰/۸۷	۹۵	۵
Sioux	۹/۶	۸۶	۱۴
Story	۹/۰۲	۸۰	۲۰
Jones	۱۶/۹۷	۸۹	۱۱
Wright	۱۱/۰۲	۹۰	۱
کل ۱۲ ناحیه	۱۱/۲۸	۸۶	۱۴

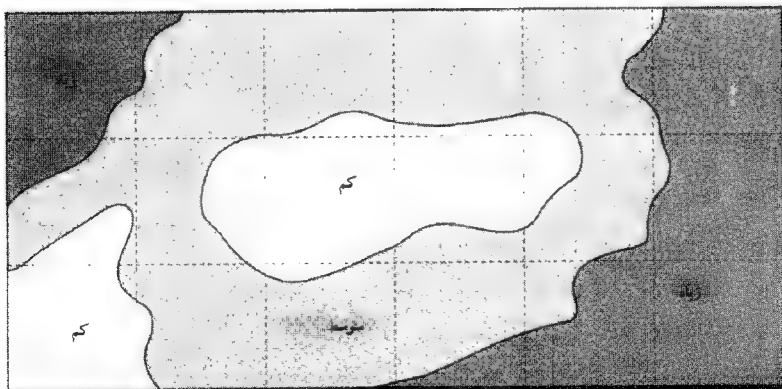
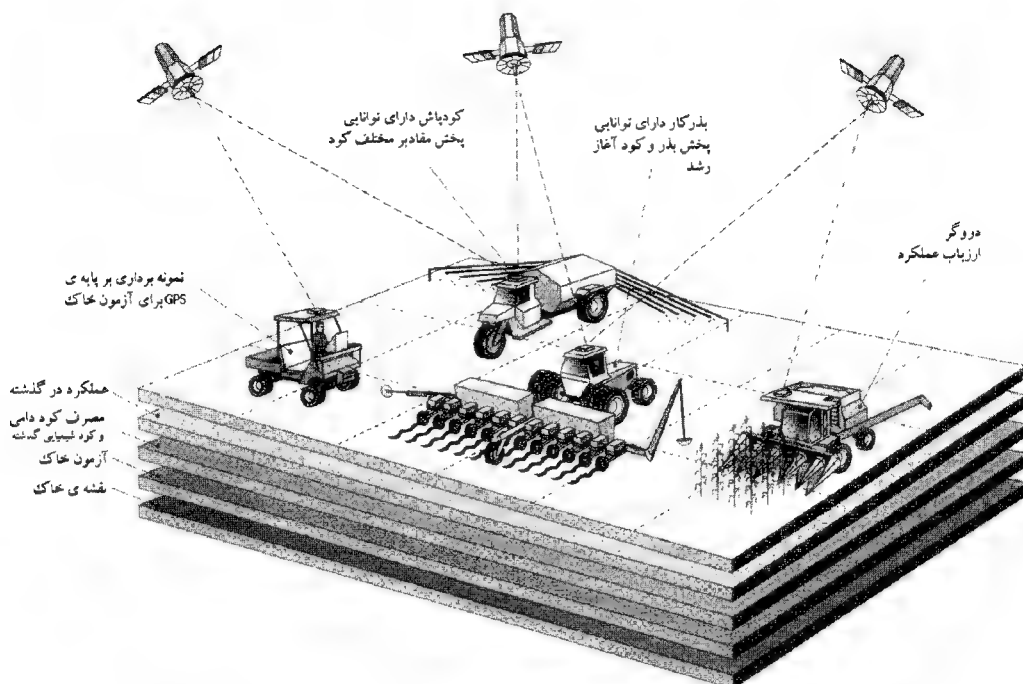
موجودی نیتروژن: با توجه به شکل منحنی عکس‌العمل و ملاحظات اقتصادی (مباحث زیر) سطح بهینه‌ی کود شیمیایی تعیین می‌شود. این میزان بهینه کود شیمیایی باید به‌وسیله‌ی مقادیر اضافه‌شده یا کاهش‌یافته که در منحنی عکس‌العمل استاندارد منظور نشده است تنظیم گردد. برای مثال، میزان نیتروژن فراهم‌شده به‌وسیله‌ی مصرف کود دامی قیل و یا کود دامی جدید (تابلو ۱-۱۶ را مشاهده کنید)، گیاهان پوششی نیامدار و یا گیاه نیامدار قبلی موجود در تناوب باید از میزان کود سفارش شده کسر گردد (شکل ۱۱-۱۶ را مشاهده کنید).

سودآوری: دومین جنبه در ارتباط با اقتصاد می‌باشد. زارعین کود شیمیایی را فقط برای محصولات درشت و یا بالابردن میزان عناصر غذایی خاک‌های خود مصرف نمی‌کنند آن‌ها این کار را برای تداوم زندگی خود انجام می‌دهند، در نتیجه هر نوع عملیات مصرف کود که برگشت اقتصادی نداشته باشد، دوام نخواهد یافت. در تولید محصولات بیشترین میزان کود سودآور به‌وسیله‌ی نسبت ارزش عملکرد اضافی قابل انتظار به قیمت کود مصرف شده به‌دست می‌آید. قانون کاهش^۱ درآمد نیز در این‌جا صادق است، بنابراین، پرسودترین میزان مصرف کود مقداری کمتر از میزانی است که حداکثر محصول را تولید می‌کند (شکل ۳۴-۱۶).

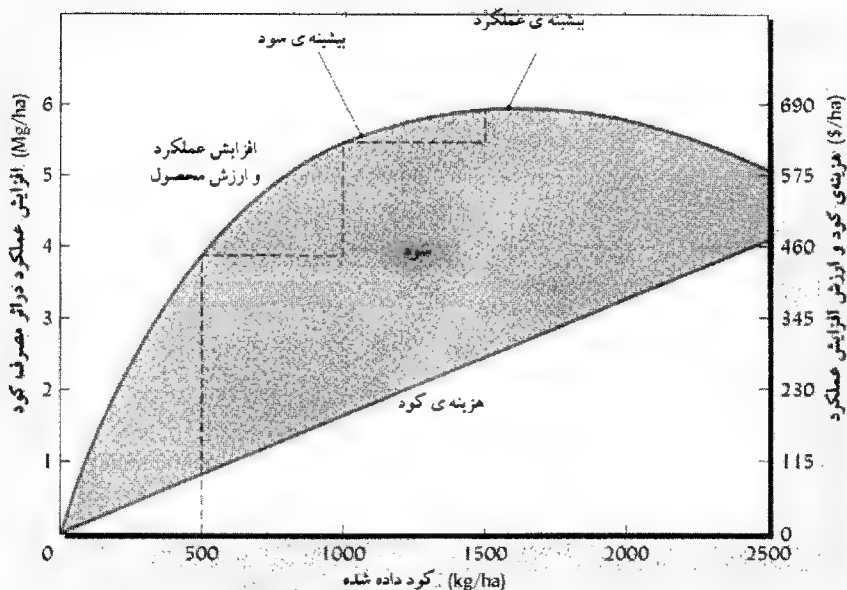
منحنی‌های عملکرد: فرض تجزیه و تحلیل اقتصادی سستی میزان کود بهینه بر این است که عکس‌العمل نبات به‌وسیله‌ی یک منحنی هموار که از تابع درجه دوم پیروی می‌کند، معرفی می‌گردد. در واقع اطلاعات واقعی می‌توانند به‌وسیله‌ی تعدادی دیگر از

^۱ - The law of diminishing returns

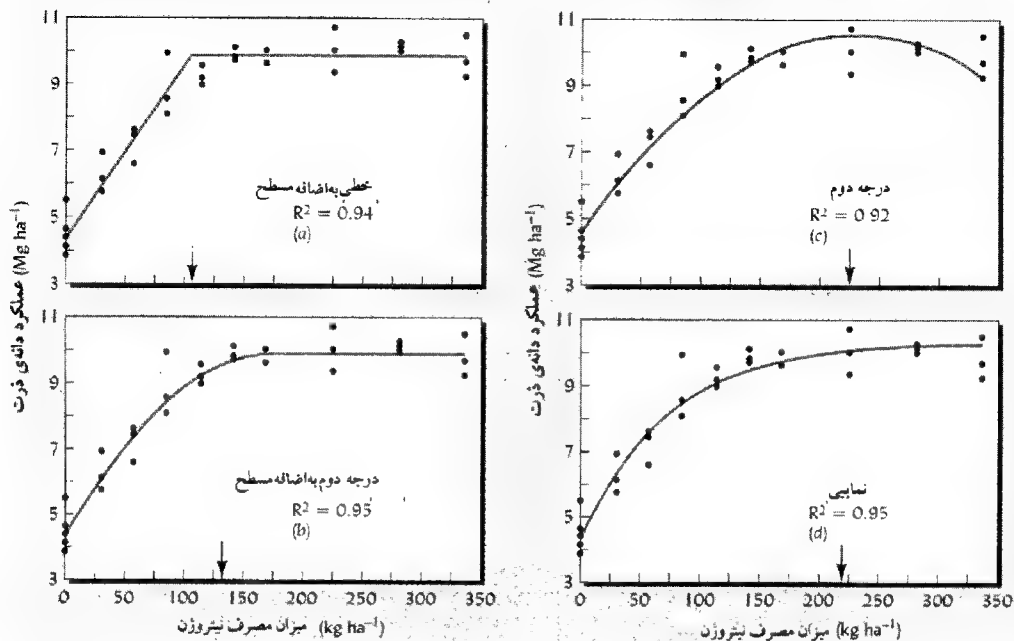
توابع ریاضی با همان خوبی تشریح گردند (شکل ۳۵-۱۶). این مشاهدات مبهم و مشکوک می‌توانند اثر بزرگی بر مقدار کود شیمیایی توصیه شده، و در نتیجه بر صدمات زیست محیطی از مصرف بیش از حد کود شیمیایی داشته باشند (شکل ۳۶-۱۶).



شکل ۳۳-۱۶ (بالا) فناوری عصر فضا برای سهولت مدیریت نظام‌های مدیریت عناصر غذایی در نقاط خاص. ماهواره‌های در گردش به دور زمین و نرم‌افزارهای مناسب رایانه‌ای مبنای جابجایی بر روی کره‌ی زمین هستند (GPS)، که می‌تواند موقعیت بسیاری از نمونه‌های خاک و تولید نباتات را بر اساس نظام شبکه‌ای در داخل یک مزرعه ترسیم کند. یک نمونه خاک (مربک از ۲۰ نمونه فرعی) از هر واحد (سلول) برداشت شده (حدود ۱ هکتار) و مورد تجزیه قرار می‌گیرد. از روی اطلاعات تجزیه خاک رایانه‌ها می‌توانند نقشه‌هایی همانند نقشه در پایین شکل در ۱۸ هکتار برای تشریح وضعیت عناصر غذایی در بخش‌های مختلف مزرعه ایجاد کنند. نظام‌های رایانه‌ای / ماهواره‌ای می‌توانند سپس برای استعمال کود شیمیایی در مقادیری که آزمون خاک و مدیریت قبلی مزرعه مشخص می‌سازند در نقاط مختلف مزرعه مورد استفاده قرار گیرند. هنگام برداشت محصول ارتباطات مشابه رایانه / ماهواره امکان نظارت بر میزان عملکرد را در همان مبنای شبکه‌ای هنگام عبور ماشین برداشت در مزرعه ممکن می‌سازد. اطلاعات عملکرد برای ایجاد نقشه‌ی عملکرد به کار می‌رود، که بعداً می‌تواند برای اصلاح مدیریت عناصر غذایی به کار روند.

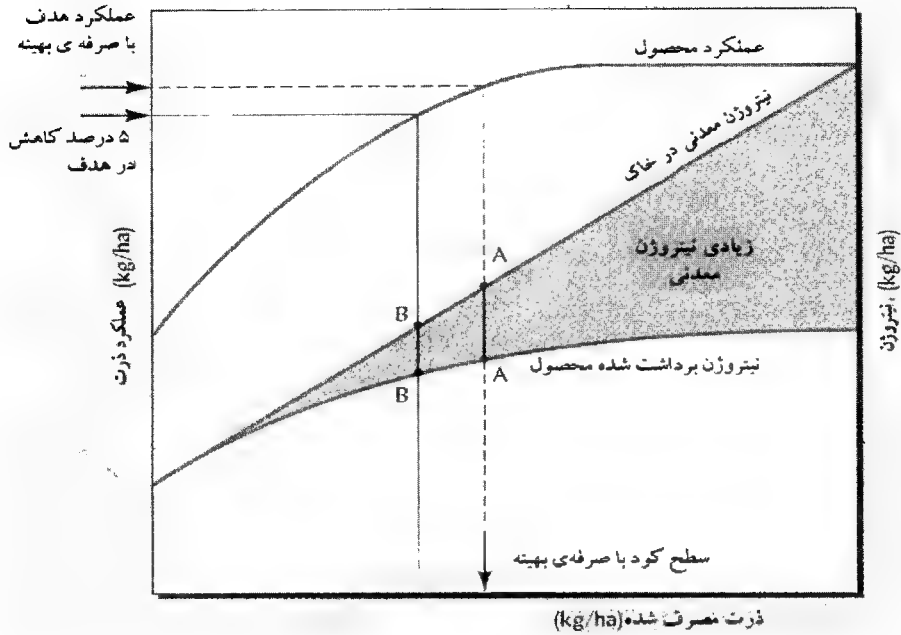


شکل ۱۶-۳۴ رابطه‌ی میزان کود مصرف شده، افزایش عملکرد نبات، هزینه‌های کود و سود حاصل از دادن کود. توجه داشته باشید که افزایش عملکرد (و سود) در اولین ۵۰۰ کیلوگرم مصرف شده بسیار بیشتر از دومین ۵۰۰ کیلوگرم مصرف شده می‌باشد. همچنین توجه کنید که حداکثر سود در میزان کود کمتر از آنچه سبب حداکثر عملکرد می‌باشد، حاصل شده است. فرض محاسبات بر این است که پاسخ عملکرد به کود اضافه‌شده از یک تابع هموار درجه دوم تبعیت می‌کند



شکل ۱۶-۳۵ مثالی از این که چگونه توابع ریاضی انتخاب شده برای اطلاعات عملکرد - کود بر میزان کود توصیه شده مؤثر می‌باشند. داده‌ها در هر ۴ منحنی دقیقاً یکی بوده و بیانگر عکس‌العمل ذرت در ایالت آیوا به افزایش میزان کود نیتروژنی می‌باشد. پیکان‌های قائم تعیین‌کننده میزان نیتروژن توصیه‌شده یا حداکثر سود در هر مدل ریاضی می‌باشد. توجه کنید که تمام مدل‌ها تناسب خوبی با داده‌ها دارند (R^2 بسیار مشابه). اما مدل خطی به انضمام مدل مسطح مقدار نیتروژن بهینه را ۱۰۴ کیلوگرم در هکتار برآورد کرده است، درحالی که مدل درجه ۲ استاندارد رقم ۲۲۲ کیلوگرم در هکتار را پیشنهاد کرده است. ظاهراً ممکن است این ۱۱۸ کیلوگرم نیتروژن اضافی بر روی عملکرد تأثیری نداشته باشد، اما ممکن است خطر صدمات زیست‌محیطی را به مقدار زیادی افزایش دهد.

هرکس که در ارتباط واقعی با تولید نبات باشد می‌تواند به پیشرفت‌های عظیمی که بر اثر استفاده عاقلانه از مواد مکمل آلی و غیرآلی حاصل شده است گواهی دهد. بحث قبلی به این معنی نبود که این مواد مکمل مورد نیاز نیست، بلکه حاکی از این است که تعیین سطح بهینه‌ی آنها با دقت مشکل می‌باشد.



شکل ۱۶-۳۶ تأثیر مقدار کود نیتروژنی مصرف شده بر عملکرد ذرت، نیتروژن برداشت‌شده در محصول نهایی و مقدار نیتروژن غیرآلی اضافی دارای توان هدررفت در محیط. خطوط نازک بیانگر کاهش اندک (۵٪) در عملکرد بهینه مورد نظر است که سبب کاهش عمده‌ای (۳۰ درصد) در توان آلودگی نیتروژن خواهد شد. خط A-A بیانگر نیتروژن اضافی موجود وقتی که کود به میزان لازم برای رسیدن به عملکرد اقتصادی بهینه مصرف شده است. خط B-B بیانگر نیتروژن اضافی در صورت کاهش عملکرد بهینه به مقدار ۵ درصد است. متأسفانه در بسیاری از موارد، ممکن است کاهش ۵ درصد سبب کاهش سود با درصد به مراتب بیشتری گردد.

۱۶-۲۱ نتیجه‌گیری نهایی

تداوم قابلیت استفاده عناصر غذایی برای پایداری اکثر بوم‌سامان‌ها لازم است. چالش‌های مدیریت عناصر غذایی سه جانبه است: (۱) تأمین عناصر لازم برای گیاهان در بوم‌سامان؛ (۲) اطمینان از این که نهاده‌ها در تعادل با تغذیه عناصر به‌وسیله‌ی نبات بوده و بنابراین، سبب حفظ منابع عناصر غذایی می‌باشد؛ (۳) ممانعت از آلودگی محیط زیست به‌وسیله‌ی عناصر غذایی مصرف‌نشده. بازچرخ عناصر غذایی باید توجه نخست را در هر نظام مدیریتی بوم‌شناختی سالم به‌خود معطوف دارد. این هدف تا حدی با برگشت دادن پس‌مانده‌های گیاهی به خاک انجام می‌شود. این پس‌مانده‌های گیاهی می‌توانند با مصرف عاقلانه ضایعات آلی که به مقدار زیادی بر اثر فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و شهری در سرتاسر جهان تولید می‌شوند همراه گردند. استفاده از نباتات پوششی، که اختصاصاً برای برگشت به خاک کشت می‌شوند یک وسیله‌ی دیگر آلی برای بازچرخ عناصر است. در مناطقی که محصولات زراعی و یا جنگلی برداشت می‌گردند، هدررفت عناصر غذایی معمولاً از مقدار بازچرخ بیشتر است. مصرف کودهای شیمیایی برای تکمیل بازچرخ طبیعی و مدیریت شده برای جایگزینی این هدررفت‌ها، و افزایش حاصلخیزی خاک تداوم دارد، که نه تنها سبب بقای انسان بلکه شکوفایی تمدن انسانی بر روی کره‌ی زمین می‌باشد. در مناطق گسترده‌ای در کره‌ی

زمین. برای جلوگیری از تخریب خاک و بوم‌سامان و امکان تولید سودآور، میزان مصرف کود شیمیایی باید از آن‌چه در حال حاضر مصرف می‌شود بیشتر گردد.

استفاده از کودهای شیمیایی آلی و غیرآلی نباید به‌طور ساده برحسب عادت، و یا برای تضمین هدف موردنظر انجام گیرد، بلکه آزمون خاک و سایر ابزارهای تشخیصی باید برای تعیین نیاز واقعی مصرف عناصر غذایی به‌کار گرفته شوند. وقتی خاک‌ها از نظر عناصر غذایی قابل‌استفاده فقیر باشند، کودهای شیمیایی معمولاً در هر دلار، چندین دلار اضافه محصول خواهند داشت، هرچند اگر توان تأمین عناصر غذایی خاک از قبل بالا باشد، اضافه‌کردن کود شیمیایی احتمالاً سبب بروز خساراتی در صرفه‌ی اقتصادی و محیط‌زیست خواهد بود.

سوالات برای مطالعه

- ۱- آب زیرزمینی در زیر یک مزرعه که شدیداً کودخورده است دارای نیتрат زیادی می‌باشد، اما با رسیدن به یک رودخانه میزان نیترات به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد توضیح شما در این باره چیست؟
- ۲- آزمون نیترات ساقه ذرت هنگام برداشت به زارع نشان می‌دهد که خاک دارای مقادیر زیادی نیترات مصرف نشده است. برای به‌حداقل‌رساندن آبشویی نیترات زارع می‌خواهد یک گیاه پوششی بکارد شما گیاه نیامدار یا غیرنیامدار پیشنهاد می‌کنید؟ چرا؟
- ۳- میزان نیترات حاصل از آبشویی و یا رواناب جنگل معمولاً خیلی پایین است. چه عملیات مدیریتی در مناطق جنگلی سبب هدررفت نیترات زیادی می‌شود و چگونه می‌توان از این تلفات جلوگیری کرد؟
- ۴- آتش‌سوزی‌های جنگل بر قابل‌استفاده‌بودن عناصر و سمیت آن‌ها چه تأثیری دارند؟
- ۵- منابع عمده‌ی اولیه‌ی موادی که از آن‌ها کودهای شیمیایی $N-P-K$ تشکیل می‌شوند، چه می‌باشند. چه فرایندهایی برای بالا بردن قابلیت استفاده‌ی آن‌ها برای جذب گیاهان به‌کار می‌رود؟
- ۶- چرا گفته می‌شود مایع آمونیاک مهم‌ترین کود شیمیایی حامل نیتروژن است؟
- ۷- عمده‌ترین اشکال فیزیکی کود شیمیایی که امروزه به فروش می‌رسند، چیست و چگونه مقادیر نسبی مصرف آن‌ها در نوع و مقدار کودهای مصرف شده مؤثر است؟
- ۸- به‌طور سنتی، کود دامی را که دارای بالاترین فایده در حفظ کیفیت خاک می‌دانند، امروزه در بسیاری از موارد بی‌فایده است موضوع را تشریح کرده و راه‌هایی برای تخفیف مسأله معرفی کنید.
- ۹- مفهوم عامل محدودکننده را مورد بحث قرار داده و اهمیت آن‌را در ارتقای و یا محدودیت عملکرد بیان کنید.
- ۱۰- چرا مسایل چرخه‌ی عناصر در نظام‌های کشاورزی بسیار برجسته‌تر از مناطق جنگلی می‌باشند؟
- ۱۱- چگونه ماهواره‌ها در مدار زمین و رایانه‌ها برای اطمینان بیشتر از مصرف کود در مقادیری که با نیاز گیاه مطابقت دارد مورد استفاده قرار می‌گیرند؟
- ۱۲- ارزش و محدودیت‌های آزمون خاک را به‌عنوان شاخصی از نیازهای غذایی گیاهان مورد بحث قرار دهید.

باد خاک قهرهای را پنهانی در می‌نوردد
تی. اس الیوت زمین بایر

فصل ۱۷

فرسایش خاک و مهار آن

هیچ پدیده‌ی خاکی در مقیاس جهانی مخرب‌تر از فرسایش ناشی از باد و آب نیست. از روزگاران ماقبل تاریخ بشر زخم تازیانده‌ی فرسایش خاک را بر پیکر خود به همراه داشته و از پیامدهای آن یعنی سوءتغذیه و گرسنگی رنج می‌برد. تمدن‌های باستانی با شسته‌شدن خاک‌های آن‌ها که زمانی عمیق و حاصلخیز بود و با به‌جای گذاشتن تپه‌های غیرحاصلخیز صخره‌ای دچار فروپاشی شدند. با مشاهده‌ی تپه‌های بایر در هندوستان مرکزی و یا بخش‌های از یونان، لبنان و سوریه، تصور این امر مشکل است که زمانی در این مناطق جوامع کشاورزی دارای شکوفایی بودند.

تهدید فرسایش خاک امروزه، بسیار شوم‌تر از هر زمان دیگر در تاریخ می‌باشد. در نسل امروز، زارعین مجبور شده‌اند تولید محصولات غذایی را برای رفع نیازهای افزایش بی‌سابقه جمعیت، بیش از ۲ برابر برسانند. در کشورهای کم‌درآمد نسبت جمعیت به اراضی زراعی قابل استفاده که از قبل نیز بسیار بالا بوده در حال افزایش است. درحالی که کشت و کار در اراضی حاصلخیز مسطح تمرکز یافته، و در تأمین بیشتر غذای مورد نیاز کمک کرده است، بسیاری از ملت‌ها مجبورند که سطح اراضی زیرکشت خود را توسعه داده و به سوزاندن و جنگل‌تراشی در شیب‌های تند و شخم‌زدن مراتع اقدام کنند. فشار جمعیت همچنین سبب چرای بی‌رویه‌ی دام‌ها در مراتع و استخراج بیش از حد منابع خوب گردیده است. تمام این فعالیت‌ها سبب تخریب و یا حذف پوشش گیاهی، و در معرض قرارگرفتن هرچه بیشتر خاک حساس‌ترین این مناطق به فرسایش می‌شود. حاصل چرخه‌ی شیطانی تخریب و یا تنزل کیفیت اراضی است، تخریب سبب کم‌شدن محصول، فقر انسانی، و کاهش پوشش گیاهی در روی خاک است، که به‌نوبه‌ی خود سبب فرسایش پرشتاب شده و عده‌ی بیشتری از مردم نیازمند را به قطع اشجار، شخم و تخریب اراضی وادار می‌سازد.

تنزل توان تولید مزارع، جنگل‌ها و مراتع فقط بخشی از داستان تأسف بار فرسایش را بازگو می‌کند. ذرات خاک شسته شده و یا باد رفته از مناطق فرسایشی بعداً در جای دیگر مانند اراضی پست مجاور، رودخانه‌ها و نهرها و یا در مخازن و لنگرگاه‌های پایین‌دست ترسیب خواهند یافت. خسارت زیست‌محیطی و اقتصادی در مناطقی که مواد خاکی فرسایش‌یافته در آن ترسیب می‌یابد، ممکن است به‌اندازه‌ی مناطق فرسایشی که خاک از آن‌ها جدا شده است بوده و یا از آن‌ها بیشتر باشد. مواد خاکی جابه‌جا شده (رسوب و گردوغبار) سبب بروز مسایل آلودگی آب و هوا شده و هزینه‌های سنگین اقتصادی و اجتماعی را در جامعه به‌دنبال خواهد داشت.

فرسایش خاک در ارتباط با زندگی همه است. خوشبختانه دهه‌های اخیر پیشرفت‌های زیادی را در فهم سازوکار فرسایش و ابداع روش‌هایی که می‌توانند به‌طور مؤثر و توجیه‌پذیر از جنبه‌ی اقتصادی هدررفت خاک را در اکثر موارد مهار کنند، شاهد بوده است. این فصل شما را به بعضی از مفاهیم و ابزارهایی مجهز می‌کند که به آن‌ها نیاز دارید تا نقش خود را در این مسأله که جهان را در تنگنا قرار داده است، ایفاء کنید.

۱۷-۱ اهمیت فرسایش خاک و تخریب اراضی

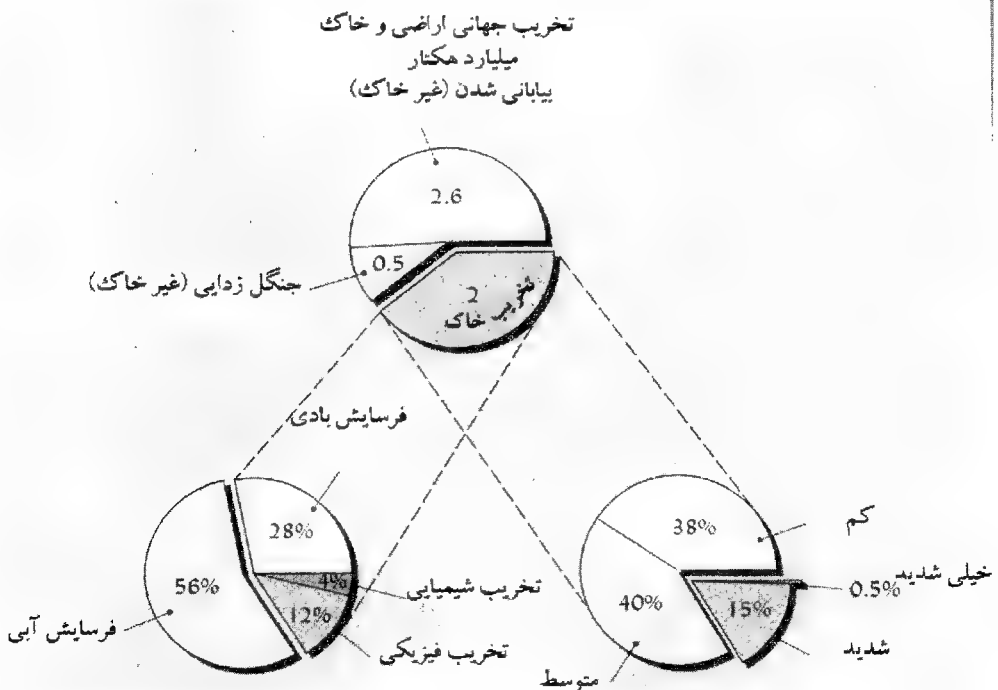
تخریب اراضی

طی نیم‌قرن گذشته، کاربری اراضی به‌وسیله‌ی انسان‌ها و فعالیت‌های وابسته سبب تخریب حدود ۵ میلیارد هکتار (حدود ۴۳ درصد اراضی دارای پوشش گیاهی) اراضی شده است. چنین تخریب اراضی سبب کاهش توان تولیدی و ظرفیت پایین در ایجاد منافع برای انسانیت شده است. بیشترین تخریب (حدود ۲/۶ میلیارد هکتار) در ارتباط با بیابانی‌شدن می‌باشد، که سبب توسعه‌ی شرایط بیابانی و نابودی بوم‌سامان‌های خشک و نیمه‌خشک (از جمله بوم‌سامان کشاورزی) گردیده است. علت عمده‌ی بیابانی‌شدن چرای بیش‌ازحد گله‌های گاو، گوسفند و بز می‌باشد. عاملی که به‌نظر می‌رسد حدود ثلث کل تخریب اراضی را، به‌خصوص در مناطق خشک، مانند ساحل در شمال آفریقا و چراگاه‌های

جنوب غرب آمریکا شامل گردد. مشابه با این، قطع یک‌جای درختان جنگل‌های بارانی است که اخیراً سبب تخریب ۵۰۰ میلیون هکتار از اراضی گرم مرطوب شده است. به‌علاوه عملیات کشاورزی نامناسب همچنان به تخریب اراضی در تمام مناطق اقلیمی مبادرت دارد.

وابستگی متقابل خاک و پوشش گیاهی: ممکن است اراضی تخریب‌یافته با نابودی جوامع گیاهی بومی، عملکرد پایین محصولات کشاورزی، تولید پایین دام و یکنواخت شدن بوم‌سامان‌های متنوع طبیعی مواجه باشد. در حدود ۲ میلیارد از ۵ میلیارد اراضی تخریب‌شده در جهان تخریب خاک عمدتاً به‌خاطر تخریب خصوصیات فیزیکی در اثر تراکم و سلب‌بستن، (بخش‌های ۵-۴ و ۸-۴ را مشاهده کنید) و یا تخریب خصوصیات شیمیایی بر اثر اسیدی‌شدن (بخش ۶-۹ را مشاهده کنید) و یا تراکم نمک (بخش ۳-۱۰ را مشاهده کنید) صورت می‌گیرد (شکل ۱-۱۷). هرچند حدود ۸۵ درصد تخریب خاک ناشی از فرسایش و عوامل تخریبی آن عمدتاً آب و باد است.

دو جزء عمده تخریب اراضی یعنی خسارات وارده به جوامع گیاهی و تخریب خاک، جدا از هم نیستند بلکه آن‌ها برهم‌کنش داشته و سبب تخریب شتابی (تسریعی) نزولی ماریچی حلزونی خواهد شد (شکل ۲-۱۷). به‌خاطر چرای بیش‌ازحد، نابودی جنگل و سایر روش‌های نامناسب تولید نباتات پوشش گیاهی تراکم و توان کمتری داشته، و بنابراین، سبب می‌شود از خاک حفاظت هرچه کمتری درمقابل فرسایش به‌عمل آید. همزمان با تخریب خاک بر اثر فرایندهای فرسایش و تخلیه‌ی عناصر غذایی، حفظ تاج‌پوشش گیاهی محافظ به‌مراتب کمتر می‌شود. تخریب خاک از طریق اثرات آن در رواناب و میزان نفوذ آب باران سبب تضعیف پوشش گیاهان می‌شود. با هدررفت ۵۰ تا ۶۰ درصد باران به‌صورت رواناب، کمبود آب خاک در اراضی فرسایش‌یافته می‌تواند عامل عمده در توقف رشد نبات باشد، بهبود در مدیریت خاک و پوشش گیاهی برای حفظ توان تولید اراضی باید باهم انجام گیرد، تا در تخریب حلزونی به‌جای سیر نزولی سیر صعودی داشته باشیم.

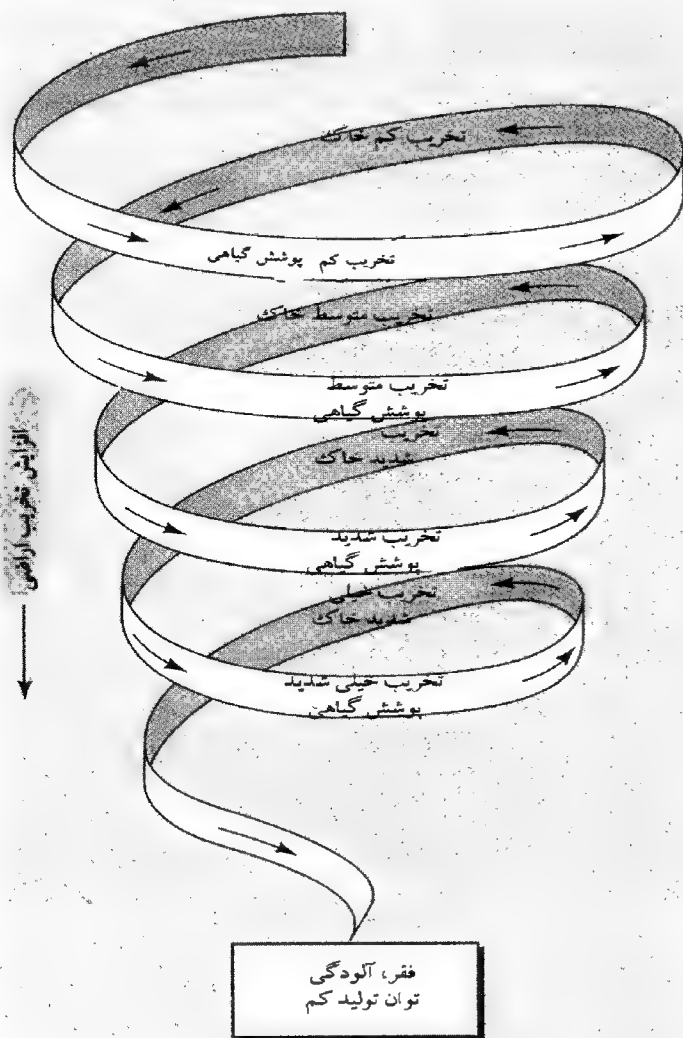


شکل ۱-۱۷ تخریب خاک و اراضی در مقیاس جهانی. تخریب خاک به‌عنوان بخشی از تخریب اراضی در مقیاس جهانی که بر اثر چرای بیش از حد، نابود شدن جنگل، عملیات نامناسب کشاورزی، برداشت بیش‌ازحد هیزم برای سوخت و سایر فعالیت‌های انسانی می‌باشد. حدود ۶۰ درصد اراضی تخریب شده دچار تخریب خاک نیستند. از ۲ میلیارد هکتار از اراضی با خاک‌های تخریب شده اکثر آن‌ها به آسانی (تخریب کم) و یا با صرف هزینه‌های مالی و فنی قابل‌ملاحظه‌ای (تخریب متوسط) می‌توانند حفاظت گردند. خاک‌هایی با تخریب شدید در حال حاضر برای کشاورزی بی‌استفاده بوده و نیازمند همکاری بین‌المللی برای نگهداری آن‌ها می‌باشیم. حدود ۹ میلیون هکتار (۵/۰ درصد خاک‌های تخریب‌یافته) خیلی شدید تخریب یافته و قابل‌مرمت نیستند. حدود ۸۵ درصد تخریب خاک از فرسایش آبی و بادی ناشی می‌شود.

^۱ عوامل دیگر فرسایش به‌خصوص نیروی ثقل در فرسایش طبیعی و شتابی و عملیات خاک‌ورزی در جابه‌جایی و انتقال خاک در بعضی از موارد از اهمیت خاص برخوردارند. برای نمونه نقش عملیات خاک‌ورزی در اراضی شیب‌دار دیم یا بارندگی‌های آرام از فرسایش آبی به‌مراتب بیشتر است

فرسایش زمین‌شناسی درمقایسه با فرسایش شتابی (تسریعی)

فرسایش زمین‌شناسی: فرسایش فرایندی است که سبب تبدیل خاک به رسوب می‌شود فرسایش خاک که به‌طور طبیعی بدون تأثیر فعالیت‌های انسانی وقوع می‌یابد، فرسایش زمین‌شناسی نامیده می‌شود. این نوع فرسایش یک فرایند هموارکننده‌ی زمین است این فرایند بدون وقفه سبب فرسایش تپه‌ها و کوه‌ها گردیده و طی ترسیب بعدی رسوبات فرسایش یافته دره‌ها، دریاچه‌ها و خلیج‌ها را پر می‌کند. بسیاری از اشکال اراضی که در اطراف خود مشاهده می‌کنیم مانند ژرف‌دره‌ها^۱، تپه‌های منفرد، تپه‌های گردشده، دره‌های رودخانه‌ای، مصب‌ها، دشت‌ها و دشت‌های دامنه‌ای از اثرات فرسایش و رسوب زمین‌شناسی می‌باشند، رسوبات گسترده‌ای که اکنون به‌صورت سنگ‌های رسوبی مشاهده می‌شوند از این راه ایجاد شده‌اند.



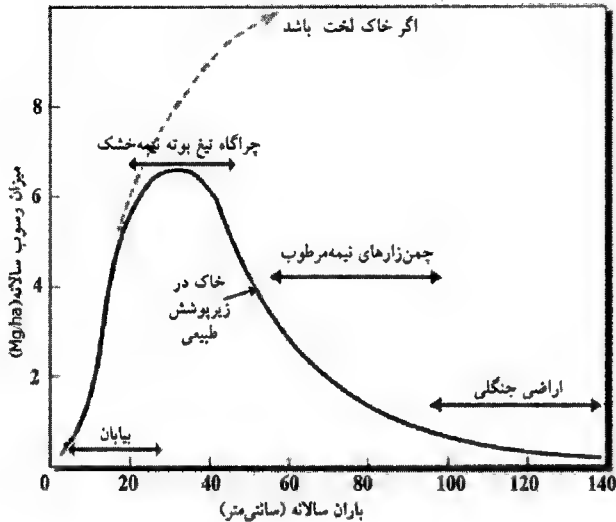
شکل ۱۷-۲ تخریب اراضی به شکل حلزونی نزولی بر اثر تعامل تخریب خاک و پوشش گیاهی

در اکثر موارد، فرسایش زمین‌شناسی اراضی را چنان به آرامی می‌فرساید که خاک جدید از مواد زیرین سریع‌تر از نرخ هدررفت خاک قدیم در سطح ایجاد می‌گردد. وجود این همه خاک‌رخ شاهده‌ی بر خالص تجمع خاک و تأثیر پوشش گیاهی تخریب‌نیافته در محافظت سطح از فرسایش است.

میزان فرسایش زمین‌شناسی در ارتباط با بارندگی و نوع موادی که رگولیت خاک را تشکیل می‌دهند متغیر می‌باشد. فرسایش آبی زمین‌شناسی در مناطق نیمه‌خشک که میزان شدت بارندگی برای ایجاد خسارت کافی اما مقدار سالانه‌ی آن چنان زیاد نیست که بتواند

^۱ - Canyons

پوشش متراکم را ایجاد کند (شکل ۳-۱۷) در حداکثر مقدار خود می‌باشد. ممکن است مناطقی که به وسیله رسوبات عمیق لای پوشیده شده‌اند به‌طور استثنایی دارای مقادیر بالای فرسایش باشند. چشم‌انداز اراضی آبکندی و تخریب‌یافته در اراضی هزاردره‌ی شمال آمریکا (شکل ۴-۱۷) یک نمونه شدید از فرسایش زمین‌شناسی است و هنگامی روی می‌دهد که رسوبات رس ناپایدار و لای در معرض بارش‌های شدید اما کم‌تعداد قرار گیرند. در این مناطق خاک معمولاً چنان خشک است (علت آن تاحدی مربوط به هدررفت بالای رواناب است) که نمی‌تواند پوشش گیاهی زیادی در روی خاک باقی بگذارد.

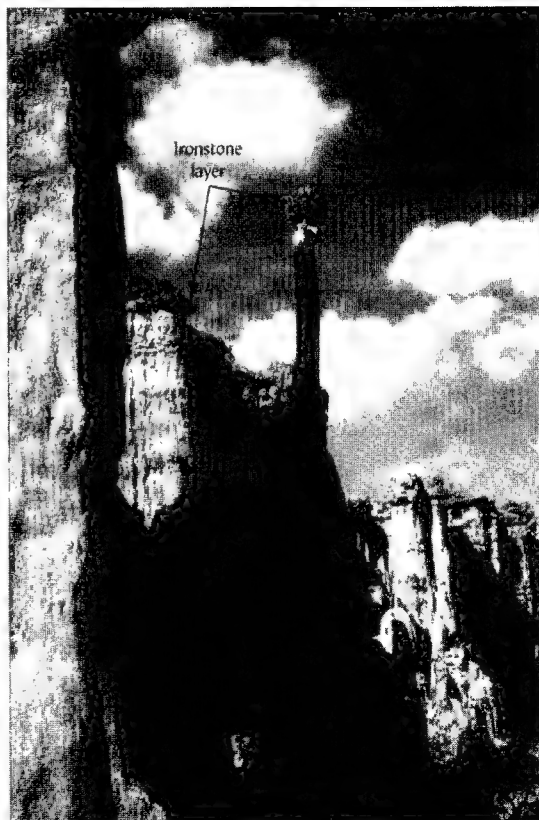
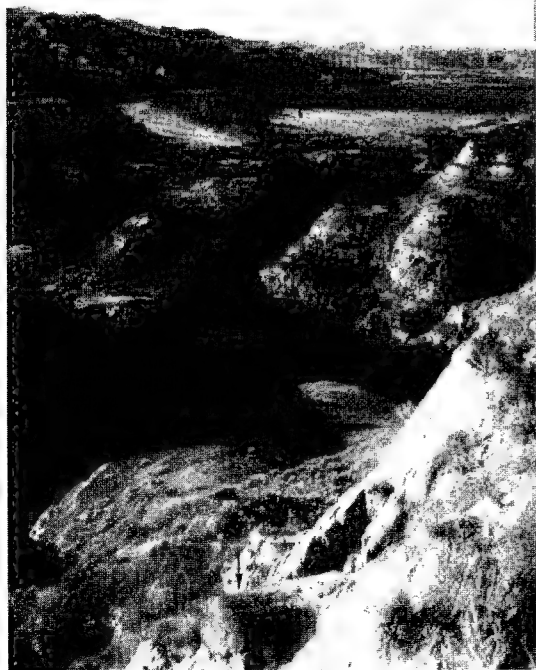


شکل ۳-۱۷ رابطه‌ی کلی بین بارندگی سالانه و فرسایش زمین‌شناسی آبی. میزان رسوب واقعی که هر سال در هکتار از دست می‌رود وابسته به سایر متغیرهای اقلیمی، پستی و بلندی و نوع خاک در حوزه می‌باشد. توجه کنید که میزان رسوب در مناطق نیمه خشک بیشترین می‌باشد. در این مناطق تعدادی از رگیارهای شدید تولیدکننده‌ی هرزآب در اکثر سال‌ها روی می‌دهد، اما کل بارندگی برای ایجاد پوشش گیاهی محافظ بسیار اندک است. در مقایسه، بیابان‌های خیلی خشک دارای باران بسیار کمی برای فرسایش زیاد می‌باشند. مناطق پر باران سبب ایجاد جنگل‌های متراکم می‌شوند که به‌طور مؤثر خاک را حفظ می‌کنند. وقتی پوشش طبیعی بر اثر شخم از بین می‌رود، فرسایش خاک لخت با افزایش بارندگی همان‌طور که با خط بریده نشان داده شده، بسیار بالاتر است.

بار رسوبات: بارندگی، زمین‌شناسی و سایر عوامل از جمله فعالیت‌های انسانی در میزان بار رسوب که به وسیله رودهای بزرگ جهان انتقال می‌یابند مؤثر می‌باشند (جدول ۱-۱۷). اگرچه رودخانه‌هایی مانند می‌سی‌سی‌پی و یانگ‌تسه قبل از آن که آدمیزاد حوزه آبخیز آن‌ها را ویران کند، گل‌آلوده بوده‌اند. بار رسوبات فعلی از سابق بسیار بیشتر می‌باشد. برای تجسم حجم خاک انتقال‌یافته به دریا به بار رسوبات می‌سی‌سی‌پی (فقط ۵/۱ یانگ‌تسه و گنگ می‌باشد) توجه کنید. اگر قرار باشد ۳۰۰ میلیون مترمکعب رسوب به وسیله کامیون‌های بارکش به خلیج مکزیکو انتقال یابد، نیازمند کاروانی مرکب از ۸۰ هزار کامیون می‌باشد که به‌طور مداوم در طول سال در تمام مسیر ویسکانسین تا نیواورلئان (۱۶۰۰ کیلومتر) در رفت‌وآمد، باشند به‌طوری‌که در هرثانیه ۴۰ تن بار رسوبات را به‌داخل خلیج مکزیکو خالی کنند.

فرسایش شتابی (تسریعی): فرسایش شتابی وقتی صورت می‌گیرد که مردم خاک طبیعی و یا پوشش گیاهی طبیعی را به وسیله چرای احشام، بریدن جنگل‌ها، شخم دامنه تپه‌ها و یا به هم زدن اراضی برای ایجاد جاده‌ها و ساختمان‌ها مورد تهاجم قرار داده باشند. فرسایش تسریعی از ۱۰ تا هزار بار از فرسایش زمین‌شناسی، به‌خصوص در اراضی شیب‌دار و در مناطق با بارندگی شدید مخرب‌تر می‌باشند. میزان فرسایش بر اثر باد و آب در اراضی کشاورزی در آفریقا و آسیا و آمریکای جنوبی به‌طور متوسط سالانه حدود ۳۰ تا ۴۰ تن در هکتار برآورد شده است. در ایالات متحده‌ی آمریکا میزان متوسط فرسایش در اراضی زراعی حدود ۱۲ تن در هکتار است که ۷ تن آن فرسایش آبی و ۵ تن آن فرسایش بادی می‌باشد. اگرچه در بعضی از اراضی میزان فرسایش ۱۰ برابر میزان متوسط است. در مقایسه میزان فرسایش در علف‌زارها و یا جنگل‌های دست‌نخورده مناطق مرطوب معمولاً کمتر از ۰/۱ تن در سال است.

سالانه حدود ۴ میلیارد تن خاک در آمریکا به وسیله فرسایش جابه‌جا می‌شوند که ۲/۳ آن‌ها به وسیله آب و ۱/۳ دیگر به وسیله باد می‌باشد. بیشتر از نصف آن‌چه به وسیله آب و بیشتر از ۶۰٪ آن‌چه به وسیله باد جابه‌جا می‌شوند در اراضی زراعی صورت می‌گیرد که اعظم غذای کشور را تأمین می‌کنند. بقیه خاک جابه‌جا شده عمدتاً از مراتع نیمه مرطوب، جاده‌سازی، برداشت السوار از جنگل‌ها، و از خاک‌هایی که برای ایجاد شاهراه‌ها و ساختمان مورد تهاجم قرار گرفته‌اند، حاصل می‌شود. هرچند پیشرفت‌هایی در کاهش فرسایش حاصل شده است، میزان هدررفت بالای کنونی برای پایداری درازمدت تولید قابل قبول نبوده و باید بیشتر کاهش یابد (بخش ۴-۱۷ را مشاهده کنید).



شکل ۴-۱۷ اثر فرسایش زمین‌شناسی و رسوب‌گذاری همان‌طور که در منظره‌ی اراضی بلند در داکوتای شمالی (سمت چپ عکس) دیده می‌شود می‌تواند سهمناک باشد. پوشش اندکی برای حفظ این کوه‌ها از تاراج و گیاه‌های رعدآسای ناگهانی تابستانی وجود دارد. به الوار دفن‌شده در خاک (با پیکان نشان داده شده است) توجه کنید که بر اثر فرسایش کوه در قسمت جلو عکس آشکار شده است، وجود آن بیانگر لایه‌های عمیق رسوب رسی در این محل است که از زمان‌های قدیم طی چرخه‌ی فرسایش-رسوب ترسیب شده است. (سمت راست) فرسایش خندقی شدید در منطقه‌ای در تانزانای مرکزی روشن‌گر قدرت برشی آب متلاطم است که جریان آن احتمالاً بر اثر جنگل‌تراشی حوزه‌های اطراف تشدید شده است. منظره همچنین اهمیت فطرات باران را در جداساختن ذرات خاک مشخص می‌سازد به دودکش‌های باقی‌مانده بلند نازک خاک که وقتی یک لایه سنگ مانند سنگ آهن مواد نرم خاکی زیری را از برخورد فطرات باران محفوظ داشته است توجه کنید (آن‌را با دودکش‌های کوچک‌تر در عکس ۹-۱۷ مقایسه کنید).

جدول ۱-۱۷ بار رسوب سالانه برای ۹ رود عمده‌ی دنیا، از جمله می‌سی‌سی‌پی

نام رود	کشور	با رسوب سالانه میلیون تن	فرسایش متوسط سالانه، تن در هکتار
یانگ‌تسه	چین	۱۶۰۰	۴۷۹
گنگ	هندوستان، نپال	۱۴۵۵	۲۷۰
آمازون	برزیل، و غیره	۳۶۳	۱۳
می‌سی‌سی‌پی	آمریکا	۳۰۰	۹۳
ایراوادی	برمه	۲۹۹	۱۳۹
کوسی	هندوستان، نپال	۱۷۲	۵۵۵
مکنگ	ویتنام، تایلند، و غیره	۱۷۰	۴۳
سرخ	چین، ویتنام	۱۳۰	۲۱۷
نیل	سودان، مصر، و غیره	۱۱۱	۸

بر اثر فرسایش شتابی خاک معمولاً سریع‌تر از آنچه به وسیله ی هواذیدگی و ترسیب ایجاد می‌گردد با آب شسته شده و یا با بادرفته می‌شود. بنابراین، عمق خاک مناسب برای انتشار ریشه اغلب کاهش می‌یابد. ممکن است در موارد شدید اراضی با شیب آرام به وسیله ی آبکندهای عمیق به هزاردره‌ها تبدیل شده، و اراضی دامنه‌ای با پوشش جنگلی در اثر فرسایش تا رسیدن به لایه سنگی از پوشش عاری شوند. فرسایش تسریعی باعث می‌شود که خاک دارای یک چشم‌انداز ناهمگون گردد. مثالی از این ناهمگونی وقتی صورت می‌پذیرد که علف‌زارهای مناطق نیمه‌خشک، پیش از حد چرانشده به بوم‌سامان بوته‌زار تبدیل گردد. طی این تخریب جزایر حاصلخیز در زیر بوته‌ها ایجاد شده درحالی که خاک بین بوته‌ها به‌طور مداوم کم‌عمق و غیرحاصلخیز می‌گردد. نمونه‌ی دیگری از این ناهمگونی تفاوت بسیار مشهودی است که بین رنگ خاک‌های واقع در بالای شیب چشم‌انداز و با طبقات B و C آشکار شده در سطح به وسیله ی فرسایش با خاک‌های پایین‌دست غنی از ماده‌ی آلی ترسیب یافته وجود دارد (شکل ۱۷-۵).



شکل ۱۷-۵ فرسایش و رسوب‌گذاری در یک زمین‌نما همزمان صورت می‌گیرد. (چپ) خاک در قسمت فوقانی این تپه بر اثر فرسایش طی حدود ۳۰۰ سال کشت‌وکار به پایین انتقال یافته است. خاک سطحی آشکار شده در قسمت فوقانی تپه عمدتاً شامل مواد روشن افق C است مناطقی در پایین شیب افق‌های سطحی عمدتاً نشان‌دهنده مواد افق‌های A و B است که بعضی از آن‌ها پس از فرسایش این مواد از بخش‌های فوقانی رسوب‌گذاری شده است. (راست) فرسایش در مزرعه گندم در قسمت عقب عکس سبب رسوب‌گذاری یک لایه‌ی ضخیم در جلو عکس شده و سبب مدفون‌شدن زراعت در پای تپه شده است.

۲-۱۷ اثرات فرسایش تسریعی در محل اصلی^۱ و وقوع و در خارج از آن^۲

فرسایش علاوه بر ایجاد خسارت در محل اصلی، دارای اثرات نامطلوب در خارج از محل وقوع آن یعنی در زیست‌محیط گسترده‌تر نیز می‌باشد. هزینه‌های فرسایش در خارج از محیط اصلی مربوط به اثرات آب و رسوب اضافی و مواد شیمیایی همراه آن‌ها در اراضی پایین‌دست، و زیست‌محیط پایاب رودخانه است. درحالی که هزینه‌های این دو نوع خسارت ممکن است بلافاصله ظاهر نشوند اما واقعیت داشته و طی زمان آشکار می‌گردند. نهایتاً باید مالکان اراضی و جامعه این هزینه‌ها را پرداخت کنند.

انواع خسارت در محل وقوع فرسایش

آشکارترین جنبه فرسایش هدررفت خود خاک است. درواقع، میزان خسارت در خاک بیشتر از آن است که خاک فرسایش‌یافته مشخص می‌سازد، زیرا مواد فرسایش‌یافته بسیار از مواد به‌جامانده در زمین اصلی ارزشمندتر است. در این فرایند، نه تنها افق‌های سطحی فرسایش یافته و افق‌های زیرین (معمولاً کمتر مفید می‌باشند) دست‌نخورده باقی می‌مانند بلکه کیفیت خاک سطحی نیز تنزل می‌یابد. قدرت انتخابی فرسایش، مواد آلی و ذرات ریزکانی‌ها را برداشت نموده و اجزای کمتر فعال، و درشت را عمدتاً باقی می‌گذارند. آزمایش‌های صحرایی نشان داده‌اند که ماده‌ی آلی و نیتروژن در مواد فرسایش‌یافته ۵ برابر خاک سطحی اصلی می‌باشد. نسبت غنی‌شدن برای فسفر و پتاسیم به ترتیب معمولاً ۲ و ۳ برابر است (جدول ۱۴-۳ را مرور کنید). میزان عناصر غذایی اساسی که در اثر فرسایش از خاک اصلی از دسترس خارج می‌شوند کاملاً بالا است، هرچند فقط قسمتی اندک از این عناصر غذایی از دست‌رفته در کوتاه‌مدت برای ثبات قابل‌استفاده می‌باشند (جدول ۲-۱۷). خاک به‌جای‌مانده معمولاً دارای ظرفیت نگهداری آب قابل‌استفاده و ظرفیت تبادل کاتیونی پایین، فعالیت زیستی کمتر و ظرفیت تأمین عناصر غذایی کمتری برای رشد نبات است.

¹ - Onsite

² - Off-site

علاوه بر کاهش عوامل کیفیت خاک، که هم اکنون اشاره گردید حرکت خاک طی فرایند فرسایش می تواند عوامل بیماری گیاهی را از خاک به پوشش برگی نبات و از یک منطقه در بالای مزرعه به پایین مزرعه پخش کند. تخریب ساختمان معمولاً یک لایه سخت را در سطح خاک به جای می گذارد (سله) که سبب کاهش ظرفیت نفوذ و افزایش رواناب می گردد. ممکن است طی فرایند فرسایش بذور تازه کاشته شده و گیاهچه ها به پایین شیب شسته شده، ریشه درختان آشکار شده و نباتات کشت شده در زیر رسوب مدفون گردند. در فرایند فرسایش بادی ممکن است میوه ها و پوشش برگی در اثر برخورد ذرات شن^۱ بادرفته دچار صدماتی گردند.

سرانجام خندق ها که در اراضی شدیداً فرسایش یافته حفره هایی را ایجاد می کنند که ممکن است استفاده از تراکتور را غیرمقدور ساخته، و یا ممکن است با زیرکشی ساختمان ها و جاده ها شرایط نامطمئن و هزینه های سنگین تعمیر را به بار آورند.

جدول ۲-۱۷ هدررفت تخمینی نیتروژن و فسفر کل و قابل استفاده در مواد فرسایش یافته در خاک های آمریکا. هدررفت پتاسیم کل از نیتروژن و فسفر کل بالاتر است زیرا این عنصر معمولاً دارای مقدار کل بیشتری در بخش جامد خاک می باشد. اما مقدار نیتروژن قابل استفاده هدریافته بر اثر فرسایش از دو عنصر دیگر بیشتر است. این امر ممکن است به خاطر مصرف کودهای شیمیایی نیتروژنی در سطح خاک باشد، که در آنجا نیتروژن بیشتر در معرض هدررفت به وسیله ی رواناب و رسوب می باشد. اعداد برحسب ۱۰۰۰ تن می باشد.

منطقه	نیتروژن		فسفر		پتاسیم	
	کل	قابل استفاده	کل	قابل استفاده	کل	قابل استفاده
مناطق اقیانوس کبیر	۱۰۰	۱۸	۲۹	۰/۶	۱۱۵۴	۲۳
مناطق کوهستانی	۱۷۶	۳۲	۶۴	۱/۳	۲۵۵۰	۵۱
دشت های جنوبی	۵۱۲	۹۴	۱۰۱	۲	۳۰۴۳	۶۱
دشت های شمالی	۲۰۶۸	۳۸۰	۲۹۳	۵/۹	۱۱۷۱۱	۲۳۴
ایالات دریاچه دار	۶۲۲	۱۱۴	۱۰۷	۲/۱	۳۶۴۳	۷۳
کمر بند ذرت	۴۳۶۰	۸۰۲	۶۲۴	۱۲/۵	۲۴۹۵۹	۴۹۹
ایالت ها واقع در اطراف مصب ها	۴۷۸	۸۸	۱۴۱	۲/۸	۴۲۲۰	۸۴
ایالات جنوبی	۲۰۲	۳۷	۱۰۱	۲	۱۰۰۷	۲۰
ایالات اپالاجی	۶۷۶	۱۲۴	۱۶۹	۳/۴	۳۳۸۱	۶۷
ایالات شمالی	۳۰۰	۵۵	۷۵	۱/۵	۲۲۵۲	۴۵
کل	۹۴۹۴	۱۷۴۴	۱۰۷۴	۳۴/۱	۵۷۹۲۰	۱۱۵۸

انواع خسارت خارج از محل اصلی

فرسایش رسوب و عناصر غذایی را از اراضی جدا کرده و دو مسأله بسیار گسترده آلودگی آب را در رودها و دریاچه ها ایجاد می کنند. اثرات عناصر غذایی در کیفیت آب عمدتاً از طریق فرایند غنی شدن^۲ به وسیله ی نیتروژن و فسفر اضافی اعمال می شود. علاوه بر عناصر غذایی، ممکن است رسوب و رواناب فلزات سنگین و ترکیبات آلی مانند آفت کش ها را با خود حمل کنند. رسوب خود یک آلاینده عمده ی آب بوده و سبب خسارت گسترده زیست محیطی می شود.

خسارت ناشی از رسوب: رسوبات ته نشین شده در روی اراضی ممکن سبب مدفون شدن محصول و پوشش گیاهی کم ارتفاع گردد (شکل ۵-۱۷). رسوب سبب پرشدن نهرهای زه کش کنار جاده گردیده و شرایط خطرناکی را برای رانندگی وقتی گل جاده را می پوشانند، ایجاد می کند. رسوباتی که به داخل رودخانه ها شسته می شوند سبب گل آلوده شدن و کدورت آب می گردند. کدورت زیاد از ورود نور آفتاب به داخل آب ممانعت کرده و از سوخت و ساز نوری و بقای پوشش گیاهی آبی مستغرق^۳ جلوگیری می کند. مرگ پوشش آبی مستغرق در جای

^۱ - Sand blasting

^۲ - Eutrophication

^۳ - Submerged aquatic vegetation.(SAV)

خود سبب تخریب زیستگاه ماهی و به هم خوردن زنجیره ی حیات آبی می شود. آب گل آلود همچنین می تواند سبب گرفتگی آب شش بعضی از ماهی ها گردد. رسوبات ته نشین شده در کف رودخانه ها می تواند اثرات مصیبت باری بر ماهی های آب شیرین از طریق مدفون نمودن قطعه سنگ ها و قلوه سنگ ها که ماهی ها در بین آن ها تخم می گذارند، گردند. بالا آمدن کف رودخانه در اثر رسوبات می تواند ارتفاع آب رودخانه را بالا آورده و دفعات طغیان رودخانه و شدت آن را افزایش دهد. برای نمونه، برای مقابله با بالا آمدن کف رودخانه، باید گوره های مهار سیل در دو طرف رودخانه می سی سی پی به طور مرتب بزرگ تر گردند. هنگامی که یک رودخانه دارای رسوب به یک مخزن و یا مصب می رسد، مسایل متعددی پیش می آید. در این نقاط سرعت آب کم شده و بار رسوب خود را ته نشین می کند نهایتاً، مخازن، حتی آن هایی که با ایجاد سدهای عظیم ایجاد شده اند، به کفه های خالص گلی تبدیل شده و به طور کامل از رسوبات مملو می شوند (شکل ۶-۱۷ ب را مشاهده کنید). البته قبل از این مرحله، ظرفیت مخازن برای ذخیره ی آب آبیاری و یا آب شهری و همین طور ظرفیت نگهداری سیلاب و تولید نیروی برقایی به طور مداوم کاهش می یابد. برآورد شده است که سالانه ۱/۵ میلیارد تن رسوب در مخازن سدهای کشور امریکا ترسیب می شود. همین طور، لنگرگاه ها و آبراهه های کشتی رانی پر شده و غیر قابل عبور می گردند. هزینه های لایروبی، تخلیه، تصفیه و فعالیت های ساختمانی برای رفع این مشکلات در هر سال به میلیارد ها دلار می رسد.



(الف)



(ب)

شکل ۶-۱۷ خسارت در خارج از محل اصلی که بر اثر فرسایش ایجاد می شود، شامل اثرات رسوب بر نظام آبی است. (الف) یک برعی حاوی رسوب به داخل آب روشن یک رود بزرگ تر تخلیه می شود. آب کدر سبب گرفتگی آب شش ماهی، مانعت از رشد گیاهان مستغرق آبزی، گرفتگی نظام تصفیه آب می شود. بخشی از رسوب در کف رود خانه ته نشین و سبب پوشاندن محل تخم ریزی ماهی ها و بالا آمدن کف رودخانه و تشدید طغیان آبی رودخانه می شود. (ب) لایروبی و حفاری پر هزینه (به وسیله ی لایروب در قسمت جلو عکس) برای حفظ زیبایی، ارزش های تفریحی و ایفای نقش مهار سیل در این آبگیر در نزدیکی یک بوستان که بعد از تراکم رسوب به شکل یک کفه گلی در آمده است. حوزه ی بالادست آبگیر یک دوره ی سریع توسعه شهری را سپری کرده است، که طی آن عملیات کافی برای مهار رسوب در محل ایجاد ساختمان ها انجام نشده است.

گرد و خاک بادرفته : فرسایش بادی نیز دارای اثرات خارج از محل اصلی مربوط به خود می باشد. ممکن است شن بادرفته جاده ها را مدفون ساخته، نهرهای زه کشی را پر کرده و هزینه های سنگینی را برای نگهداری آن ها به بار آورد. اثرات برخورد ذرات شن بادرفته ممکن است خساراتی در سطح میوه ها و سطح برگ مزارع همجوار پدید آورده، و در بدنه ماشین ها و ساختمان ها کیلومترها دورتر از محل وقوع فرسایش بادی آثاری به جای گذارد.

به خطر افتادن سلامتی: ممکن است ریزترین ذرات که تا دورترین فاصله به وسیله فرسایش بادی انتقال می یابند خطرات عمده ای را برای سلامتی انسان به بار آورند. درحالی که ذرات در اندازه ی لای معمولاً به وسیله ی موی های بینی تصفیه شده و یا در لایه کرک دار لوله های تنفسی و نایژه ها ترسب می شوند، ذرات کوچک تر در اندازه رس از این اندام های دفاعی گذشته و در کیسه های هوایی شش ها تجمع می یابند. خود ذرات سبب ملتهب شدن شش ها گردیده اما ممکن است مواد سمی را با خود حمل کنند که سبب خسارت بیشتر گردد. برای مثال، ممکن است ذرات رس موجود در هوا بخار آب را جذب کرده و به وسیله ی اسیدسولفوریک و یا نیتریک، که در نیوار یافت می شوند پوشش یابند (بخش ۵-۹ را مشاهده کنید). مطالعات درازمدت صدمات همه گیری مطرح می کنند که تعداد مرگ و میرهای ناشی از استنشاق این ذرات گردوغبار از تعداد مرگ و میرهای ناشی از تصادفات اتومبیل در بزرگراه ها بیشتر است. به این دلیل سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا و سایر سازمان های مسوول، نیاز به کاهش انتشار گردوغبار بادرفته را، که اکثر آن ها از اراضی کشاورزی، مراتع و محل های ایجاد ساختمان، (و همچنین از حمل و نقل بر روی جاده های خاکی) ناشی می شوند پیش بینی کرده اند.

برآورد هزینه های فرسایش خاک: هرچند اطلاعات دقیقی در این باره وجود ندارد میزان متوسط فرسایش بادی و آبی در مقیاس ملی و ناحیه ای برای برآورد هزینه های کلی فرسایش در ایالات متحده به کار گرفته شده است. در این محاسبات هزینه های فرسایش در محل اصلی برای جایگزینی عناصر غذایی و آب هدررفته بر اثر فرسایش تسریعی و همچنین کاهش عملکرد محصول به خاطر کاهش عمق خاک در اثر فرسایش منظور شده است. بر اساس فرضیاتی عمدتاً در مورد ارزش عناصر غذایی هدررفته در رسوب و رواناب (آیا باید عناصر در اشکال قابل استفاده ارزش گذاری شوند؟)، هزینه کل سالانه فرسایش در محل وقوع بین ۴ تا ۲۷ میلیارد دلار برآورد شده است.

هزینه های فرسایش در خارج از محل اصلی وقوع آن، شاید به خصوص به خاطر اثرات ذرات بادرفته بر سلامتی انسان و کاهش ارزش های تفریحی (ماهی گیری و شنا و زیبایی شناسی) رودخانه های گل گرفته حتی بیشتر باشد. تمام این هزینه های فرسایش در خارج از محل اصلی به طور سالانه به طور کلی ۵ تا ۱۷ میلیارد دلار برآورد شده است. بنابراین، به نظر می رسد بزرگی هزینه ی کل سالانه ی فرسایش در آمریکا بین ۹ تا ۴۴ میلیارد دلار باشد. این هزینه های سنگین بیانگر یک هشدار جدی از باری است که جامعه بر اثر مدیریت ضعیف اراضی تحمل می کند، و به نظر می رسد افزایش وجوهی را که برای مبارزه با فرسایش اختصاص یافته است، کاملاً توجیه کند.

حفظ توان تولید اراضی: هرچند فرسایش شدید خاک می تواند توان تولیدی خاک را تقریباً به صفر برساند، در اکثر موارد اثر فرسایش بسیار ضعیف و پنهان بوده و نمی توان از وجود آن در بین دو سال متوالی اطلاع پیدا کرد. وقتی زارعین قدرت مالی داشته باشند، آن ها کاهش هدررفت عناصر غذایی را با افزایش مصرف کود شیمیایی جبران می کنند. جبران کاهش ماده ی آلی و ظرفیت نگهداری آب بسیار مشکل است. در درازمدت میزان فرسایش شتابی که از نرخ تشکیل خاک پیشی گیرد، سبب کاهش توان تولیدی در اکثر خاک ها خواهد شد. در آمریکا، عملکرد محصولات زراعی بر روی خاک های شدیداً فرسایش یافته اغلب ۲۰ تا ۴۰ درصد کمتر از خاک های مشابه با فرسایش کمتر می باشد.

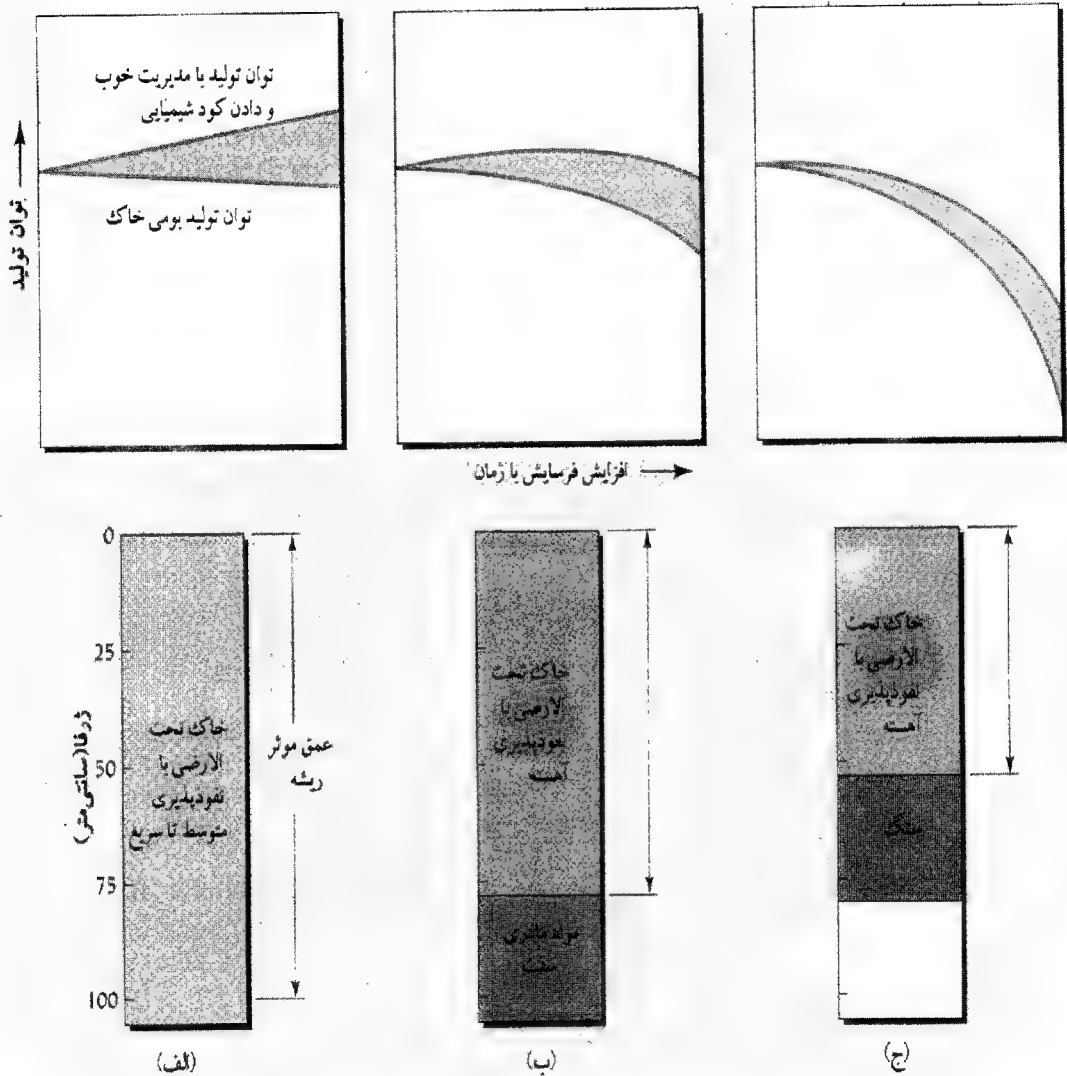
سرانجام نرخ کاهش توان تولید و یا هزینه ی حفظ سطوح تولید به وسیله ی خصوصیات ماند عمق خاک تا لایه ی محدودکننده ی رشد و نفوذپذیری خاک زیرین مشخص می شود. همان طور که در شکل ۷-۱۷ نشان داده شده است، یک خاک عمیق با زه کشی و مدیریت خوب، حتی اگر تا حدی در معرض فرسایش قرار گیرد، توان تولید خود را خیلی از دست نمی دهد. برعکس، ممکن است فرسایش در یک خاک کم عمق با نفوذپذیری اندک سبب کاهش سریع توان تولید خاک گردد.

فرسایش قابل قبول^۱

هدررفت هر مقدار خاک بر اثر فرسایش زیان بار است اما سال ها تجربه صحرایی و همچنین تحقیقات علمی، بیانگر این است که مقداری از هدررفت قابل تحمل می باشد. محققین سازمان حفاظت منابع طبیعی وزارت کشاورزی آمریکا با همکاری مأموران صحرایی در سرتاسر آمریکا برای اکثر خاک های تحت کشت و کار حدود فرسایش قابل قبول را به طور تجربی تعیین کرده اند.

^۱ - Tolerable erosion

فرسایش قابل قبول (مقدار T)، عبارتست از حداکثر مقدار خاکی که هر سال می‌تواند به وسیله‌ی مجموعه‌ی فرسایش آبی بادی در یک خاک به خصوص بدون تأثیر در توان تولید درازمدت به‌هدر رود. مقدار T در حال حاضر نه بر اساس اطلاعات دقیق تحقیقاتی، بلکه بر اساس بهترین قضاوت محققین صاحب‌نظر استوار است.



شکل ۷-۱۹ اثر فرسایش در طول زمان بر توان تولیدی سه خاک با عمق و نفوذپذیری متفاوت. توان تولید در خاک (الف) طی زمان به‌خاطر عملیات خوب و افزایش کود درواقع افزایش پیدا می‌کند. توان تولید اولیه‌ی خاک حتی در اثر فرسایش کاهش می‌یابد. از آن‌جاکه خاک (ج) کم‌عمق بوده و دارای نفوذپذیری محدودی می‌باشد توان تولید آن در اثر فرسایش به‌سرعت کاهش می‌یابد، از این‌کاهش نمی‌توان با مدیریت خوب و مصرف کود شیمیایی اجتناب کرد. توان تولید خاک (ب) که از نظر عمق و نفوذپذیری متوسط می‌باشد، اثر فرسایش به‌مقدار کمی تحت تأثیر قرار می‌گیرد. خصوصیات خاک به‌طور آشکار بر توان تولیدی خاک در اثر فرسایش مؤثر می‌باشد.

مقادیر معمول فرسایش قابل قبول: مقدار T در خاک‌های آمریکا معمولاً از ۵ تا ۱۱ تن در هکتار متغیر است. این مقادیر در ارتباط با تعدادی از عوامل کیفی و مدیریتی خاک از جمله عمق، مقدار ماده‌ی آلی و استفاده از عملیات مهار آب وابسته است. برای خاک‌هایی با لایه‌های کم‌عمق غیر حاصلخیز، غیر قابل نفوذ، و یا با مواد سنگی معمولاً دارای مقادیر T در نزدیک حد پایین دامنه T (۵ تن در هکتار) اختصاص یافته است. در بعضی مناطق حاره‌ای با توان اندک عرضه عناصر غذایی در لایه‌های زیرین مقادیر مناسب T باید به‌مقدار قابل ملاحظه‌ای از آن‌چه در آمریکا به‌کار می‌رود پایین‌تر باشد.

در اکثر خاک‌های تحت کشاورزی آمریکا در حال حاضر بالاترین مقدار T یعنی ۱۱ تن در هکتار اختصاص یافته است، و این به معنی حداکثر هدررفت مجاز به مقدار $0/9$ میلی‌متر از عمق خاک در هر سال است. میزانی که حدود ۲۲۵ سال طول خواهد کشید تا طبقه Ap خاکی با عمق ۲۰ سانتی‌متر و وزن مخصوص $1/25$ گرم در سانتی‌مترمکعب تماماً از دست رود. در تحت مدیریت خوب زراعی در یک خاک با خاکریخ عمیق نفوذپذیر این زمان برای جایگزینی لایه از دست‌رفته به وسیله‌ی ایجاد افق جدید Ap از مواد زیرین کفایت می‌کند. ایجاد افق‌ها در خاک‌های دست‌نخورده تحت پوشش طبیعی احتمالاً بسیار کمتر از این مقدار می‌باشد. بنابراین، مقدار T اختصاص یافته به یک نوع خاک خاص احتمالاً سبب حفظ اراضی جنگلی در بسیاری از مناطق نخواهد شد.

اهمیت مقادیر T : از آن‌جاکه مقدار T برای ارزیابی و تأیید برنامه‌های نظارتی متعدد به کار می‌رود. مجادلات زیادی در مورد بالابردن و یا پایین آوردن آن وجود دارد. برای خاک‌های دارای منطقه انتشار ریشه عمیق و مناسب میزان فعلی ۱۱ تن در هکتار ممکن است از میزان لازم کمتر باشد. بسیاری از دانشمندان معتقدند که برای خاک‌های دارای چندین متر عمق با موادی مناسب برای رشد ریشه نبات توان تولید خاک می‌تواند با هدررفت ۱۵ تن در هکتار در سال و یا حتی ۲۰ تن به آسانی نگهداری شود. دانشمندان دیگر، که توان تولید درازمدت خاک و یا اثرات رسوب حاصل از فرسایش خاک را در خارج از محل وقوع آن در نظر دارند، بر این باورند که مقادیر T مورد استفاده کنونی بسیار بالا است. حتی با بودن این محدودیت‌ها، مفهوم T برای عطف توجه در خاک‌هایی که عملیات اصلاحی برای حفظ توان تولید آن‌ها لازم است مفید می‌باشد. سرشماری منابع ملی آمریکا در سال ۱۹۹۲ مطرح می‌کند که تحت کاربری‌ها و مدیریت فعلی، توان تولید در حدود ۱۰۲ میلیون هکتار از اراضی غیردولتی در آمریکا در حال کاهش است، ۳۳ درصد از کل اراضی زراعی با نرخ بیشتر از T در حال فرسایش بوده، که در حدود ۱۵ درصد آن‌ها فرسایش دو برابر میزان T می‌باشد. روشن است، که کار زیادی در مبارزه با فرسایش‌های شدید خاک باقی‌مانده است که باید انجام پذیرد.

۳-۱۷ سازوکار فرسایش آبی

فرسایش خاک به وسیله‌ی آب اساساً یک فرایند سه مرحله‌ای است (شکل ۸-۱۷):

۱) جردن ذرات از توده‌ی خاک^۱ (۲) انتقال ذرات جدا شده^۲، به پایین شیب بر اثر شناوری، غلطیدن، کشیدن و پاشمان و (۳) ترسیب ذرات انتقال یافته در بخش‌هایی در ارتفاع پایین‌تر^۳ می‌باشد. در سطوح نسبتاً مسطح خاک، نیروی برخورد قطرات باران بخش عمده جدا کردن را به عهده داشته، و در مناطقی که آب در آبراهه‌هایی متمرکز می‌گردد، عمل برشی جریان متلاطم آب سبب جدا نمودن ذرات خاک می‌شود. در بعضی مواقع، عمل یخ‌بندان و ذوب یخ سبب جدا کردن ذرات خاک می‌گردد.

تأثیر قطرات باران

سرعت قطره باران در حین سقوط افزایش یافته تا به یک سرعت نهایی^۴ می‌رسد که در آن نیروی اصطکاک بین قطره و هوا معادل نیروی ثقل می‌گردد. قطرات درشت‌تر، سریع‌تر نزول یافته و به سرعتی حدود ۳۰ کیلومتر در ساعت و یا ۲ تا ۳ برابر سرعت دیدن یک انسان می‌رسد. با برخورد قطرات سریع باران دارای نیروی انفجاری، انرژی جنبشی آن‌ها به ذرات خاک انتقال می‌یابد (شکل ۸-۱۷) رامشاهده کنید. برخورد قطرات باران سه اثر مهم را اعمال می‌کند که عبارتند از: ۱) جدا کردن ذرات خاک (۲) تخریب خاکدانه‌ها و (۳) پاشمان ذرات در شرایط خاص و انتقال قابل توجه آن‌ها. نیروی اعمال شده به وسیله‌ی قطرات باران چنان زیاد است که نه تنها سبب سست و جدا گشتن خاکدانه‌ها شده، بلکه سبب تخریب خاکدانه‌ها به اجزای ریزتر می‌گردد. با خشک شدن ذرات جدا شده ممکن است یک لایه‌ی سخت (سله) ایجاد گردد، که از بیرون آمدن گیاهچه‌ها جلوگیری کرده، و سبب بروز رواناب در بارندگی‌های بعدی می‌گردد.

زمانی تاریخ ممکن است ثبت کند که یک پیشرفت علمی واقعی در قرن بیستم تشخیص این مطلب بود که: بخش اعظم فرسایش بر اثر برخورد ضربات قطرات باران در مقایسه با رواناب صورت می‌گیرد. قرن‌ها قبل از این تشخیص، تلاش‌های حفاظت خاک عمدتاً برای مهار کردن جریان قابل مشاهده‌ی رواناب به جای حفاظت سطح خاک از برخورد قطرات باران مبدول می‌گردید.

¹ - detachment

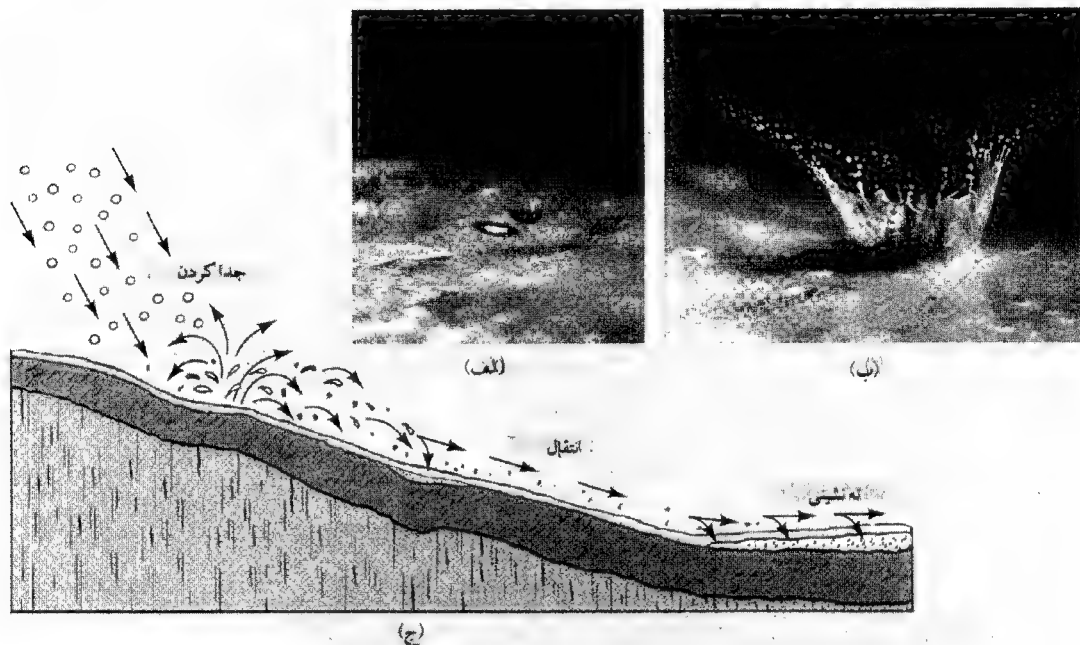
² - Transportation

³ - deposition

⁴ - Terminal velocity

انتقال ذرات خاک

اثرات پاشمان قطرات باران: وقتی قطرات باران بر سطح یک خاک خیس برخورد می‌کند، سبب برداشت ذرات خاک و پرتاب آنها در تمام مسیرها می‌شود (شکل ۸-۱۷). در یک خاک با سهولت برداشت آسان، ممکن است یک باران شدید سبب پاشمان ۲۲۵ تن خاک در هکتار گردد. بعضی از ذرات ممکن است به طور قائم $۰/۷$ متر و به طور افقی حدود ۲ متر پاشمان یابند. در صورت شیب دار بودن زمین، و یا در جریان باد، میزان پاشمان در یک جهت ممکن است از دیگر جهات بیشتر گردد، که در آن صورت خالص حرکت افقی ذرات خاک قابل ملاحظه می‌باشند.



شکل ۸-۱۷ سه مرحله‌ی فرسایش خاک به وسیله‌ی آب با برخورد قطرات باران به خاک مرطوب آغاز می‌شود. (الف) یک قطره باران با سرعت به زمین برخورد می‌کند. (ب) وقتی قطره به سطح خاک مرطوب لغت می‌رسد، پاشمان حاصل می‌شود. این ضریب قطرات باران سبب تخریب خاکدانه‌ها، ایجاد فرسایش صفحه‌ای و بین‌شیاری می‌شود. مقادیر قابل ملاحظه‌ای خاک می‌تواند تنها با پاشمان جابه‌جا شود. قطرات باران در جدا کردن ذرات خاک مؤثر می‌باشند این ذرات سپس حمل گردیده و در آخر در پایین دست شیب رسوب‌گذاری می‌شوند.

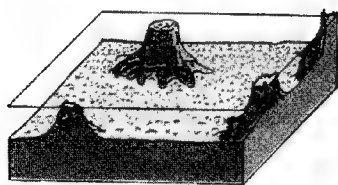
نقش رواناب در انتقال ذرات: رواناب نقش عمده‌ای را در مرحله انتقال فرسایش خاک ایفا می‌کند. چنانچه شدت بارندگی از ظرفیت نفوذ خاک پیشی گیرد، آب در سطح خاک جمع گردیده و در طول شیب شروع به حرکت می‌کند. ذرات خاک در حال پاشمان بر اثر برخورد ضربات باران بر روی سطح آب جاری فرود آمده و به وسیله‌ی رواناب به پایین شیب انتقال می‌یابند. تا وقتی که آب به صورت آرام در یک لایه‌ی نازک (جریان صفحه‌ای) حرکت کند، دارای توان کمی برای جدا کردن ذرات می‌باشد. گرچه در اکثر مواقع آب در اثر وجود عدم یک‌نواختی در سطح خاک تمرکز یافته و سرعت و تلاطم آن افزایش می‌یابد. آب تمرکز یافته نه تنها ذرات جدا شده بر اثر پاشمان قطرات باران را با خود انتقال می‌دهد، بلکه خود سبب جدا شدن ذرات خاک بر اثر بریدن توده‌ی خاک نیز می‌گردد، و این یک فرایند شتابی است زیرا وقتی یک آبراهه عمیق‌تر می‌شود از حجم هرچه بزرگ‌تری از آب جاری پر و پرتو می‌گردد. توان رواناب برای بریدن و انتقال ذرات خاک چنان شناخته شده است که عامه‌ی مردم معمولاً تمام خسارات ناشی از بارش را به آن نسبت می‌دهند.

انواع فرسایش آبی

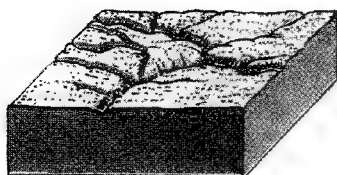
سه نوع فرسایش آبی معمولاً شناخته شده است که عبارتند از: (۱) فرسایش صفحه‌ای (۲) فرسایش شیاری و (۳) فرسایش آب‌کنندی (شکل ۹-۱۷). در فرسایش صفحه‌ای ذرات پاشمان شده کم‌وبیش به طور یکنواخت انتقال پیدا می‌کنند، به استثنای مواردی که ستون‌های باریک خاک در جاهایی که قله‌سنگ‌ها مانع برخورد قطرات باران می‌شوند باقی می‌مانند (شکل ۹-۱۷ الف). به محض این‌که جریان صفحه‌ای در آبراهه‌های کوچک (که شیارها نامیده می‌شوند) تمرکز یابد، فرسایش شیاری غالب می‌گردد. شیارها به خصوص در خاک‌های فاقد پوشش،

و یا اراضی تازه کشت شده و یا اراضی آیش بسیار معمول می‌باشند (شکل ۹-۱۷ب). شیارها آبراهه‌هایی چنان کوچک هستند که با عملیات خاک‌ورزی معمول از بین می‌روند، گرچه خسارت اصلی، که همان هدررفت خاک است قبلاً انجام گرفته است. هنگامی که فرسایش سطحی عمدتاً در فاصله نامنظم بین شیارها انجام می‌شود، به آن فرسایش بین‌شیاری اطلاق می‌گردد.

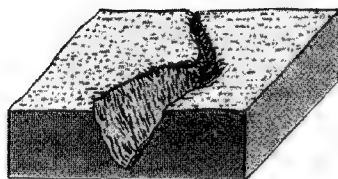
هنگامی که حجم رواناب بیشتر متراکم گردد، جریان طغیانی سبب کندن خاک با عمق بیشتری گردیده، که سبب ژرف‌تر شدن و تلفیق شدن شیارها به صورت آبراهه‌های بزرگ‌تری بنام آبکند (شکل ۹-۱۷ج) می‌شود. آبکندها در اراضی زراعی مسوانی در مقابل تراکتورها بوده نمی‌توان آن‌ها را با عملیات خاک‌ورزی معمولی برطرف کرد. ممکن است هر سه نوع فرسایش شدید باشند اما فرسایش شیاری و صفحه‌ای، که درمقایسه با فرسایش خندقی کمتر توجه را به‌خود جلب می‌کنند، مسوولیت اکثر خاک فرسایش‌یافته را به‌عهده دارند.



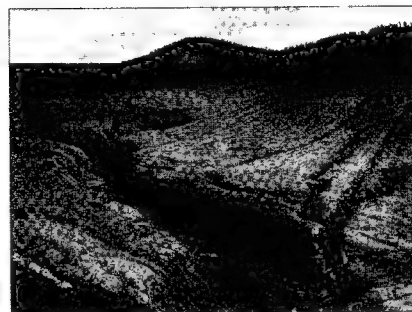
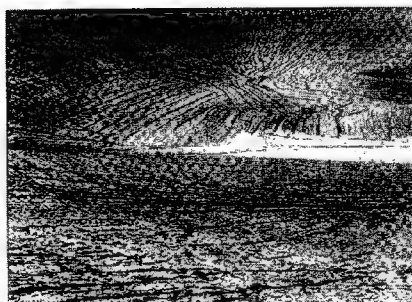
(الف) فرسایش صفحه‌ای



(ب) فرسایش شیاری



(ج) فرسایش آبکندی



شکل ۹-۱۷ الف: سه چهره‌ی عمده فرسایش آبی خاک. فرسایش صفحه‌ای که عبارت از فرسایش نسبتاً یکنواخت در تمام سطح خاک است. توجه کنید که سنگ‌ریزه‌ها و قلوه‌سنگ‌های به‌جامانده خاک زیرین را از فرسایش سطحی محافظت می‌کنند. فرسایش شیاری زمانی شروع می‌شود که آب در آبراهه‌های کوچک (شیارها) هنگام خارج شدن از زمین تمرکز یابد. کشت‌وکار بعدی سکن است شیارها را از بین ببرد. اما خاک از دست‌رفته را نمی‌تواند جایگزین کند. فرسایش خندقی سبب ایجاد آبکندهای ژرفی می‌شود که با عملیات خاک‌ورزی برطرف نمی‌گردند. هرچند فرسایش خندقی نوع مصیبت‌بار فرسایش تلقی می‌شود، اما بیشترین بخش خاک بر اثر فرسایش شیاری و صفحه‌ای جابه‌جا می‌گردد.

ترسیب خاک‌های فرسایش‌یافته

ممکن است فرسایش خاک را به یک سفر هزاران کیلومتری، از کوه‌ها به جویبارها و از رودهای گل‌آلوده پایین‌تر به اقیانوس‌ها گسیل دارد. از طرف دیگر، ممکن است خاک فرسایش‌یافته فقط ۱ تا ۲ متر قبل از این‌که در یک فروافتادگی کوچک در دامنه‌ی یک تپه و یا پای شیب ترسیب یابد حرکت کند (همان‌گونه که در شکل ۵-۱۷ ب نشان داده شده است). میزان خاک تحویل شده به یک رودخانه تقسیم بر میزان خاک فرسایش‌یافته، نسبت تحویل رسوب^۱ نامیده می‌شود. در حوزه‌های آبخیز خاص که دیواره دره‌ها از شیب خیلی زیاد برخوردارند، ممکن است تا حدود ۶۰ درصد مواد فرسایش‌یافته به رودخانه برسد ($SDR = 0.6$). در رودخانه‌هایی که دشت‌های ساحلی با

¹ - Sediment delivery Ratio = SDR

شیب آرام را تخلیه می‌کنند ممکن است این نسبت به یک درصد برسد. نسبت تحویل رسوب در حوزه‌های آبخیز کوچک بزرگ‌تر از حوزه‌های آبخیز بزرگ است، زیرا حوزه‌های دومی امکانات به مراتب بیشتری را برای ترسیب خاک قبل از رسیدن به رودخانه اصلی فراهم می‌آورند. برآورد می‌شود که حدود ۵ تا ۱۰ درصد مواد فرسایش یافته در آمریکای شمالی به دریا می‌رسند. بقیه آن‌ها در آبگیر، رودخانه‌ها، سیل‌دشت‌ها و یا اراضی نسبتاً مسطح در مناطق بسیار دوردست بالای حوزه آبخیز ترسیب می‌شوند.

۴-۱۷ مدل‌های برآورد میزان فرسایش ناشی از آب

مدیران اراضی و سیاستمداران نیازمند برآورد میزان فرسایش خاک به دلایل مختلف زیر می‌باشند: ۱- برنامه‌ریزی بهترین مدیریت منابع خاک کشور ۲- ارزیابی پیامدهای عملیات مختلف خاک‌ورزی ۳- تعیین میزان تطابق با مقررات زیست‌محیطی ۴- ارائه طرح‌های مهار رسوب در طرح‌های ساختمان‌سازی و ۵- برآورد سال‌هایی که عمر یک سد برقایی به وسیله رسوب‌گذاری به پایان می‌رسد.

پروژه برآورد فرسایش آبی WEPP^۱

فرایندهای جداسازی، انتقال و ترسیب خاک می‌تواند از طریق ریاضیات با مدل‌های فرسایش خاک برآورد گردند. این مدل‌ها شامل معادلات و یا مجموعه‌ای از این معادلات تلفیقی می‌باشند که اطلاعات مربوط به بارندگی، خاک، پستی و بلندی، پوشش گیاهی و مدیریت یک محل را با میزان خاکی که احتمال دارد فرسایش یابد مرتبط می‌سازند. یکی از مدل‌های کامل و برتر فرسایش خاک که تا حال ابداع گردیده است، مدل مرکب، متکی به فرایند و رایانه‌ای می‌باشد که به آن طرح برآورد میزان فرسایش آبی (WEPP) می‌گویند. این مدل بر مبنای سازوکارهای اساسی موجود در فرایندهای متهم به فرسایش خاک استوار می‌باشد.

WEPP یک مدل شبیه‌ساز است که بر پایه‌ی روزانه، فرایندهای هیدرولیک، رشد گیاهی و حتی تجزیه‌ی لاشیرو را محاسبه می‌کند. به‌طور نظری این مدل می‌تواند به‌دقت برآورد کند که بارندگی با خاک طی یک رگبارش و یا طی یک سال چگونه تعامل می‌کند. اگر اطلاعات کافی برای تغذیه‌ی مدل فراهم باشد، این مدل می‌تواند اثرات برخورد قطرات باران، فرسایش پاشمانی، جریان بین‌شیاری، تشکیل شیار، جریان متمرکز، تشکیل آبکند و ته‌نشینی رسوب را هم در محل اصلی فرسایش و هم خارج از آن همگی برآورد کند. هم‌اکنون محققین سازمان جنگل‌ها و سازمان حفاظت منابع طبیعی وزارت کشاورزی آمریکا همراه با دیگر پژوهشگران در سرتاسر دنیا در حال تکمیل پایگاه‌های اطلاعاتی مورد لزوم، آزمون و اصلاح مدل WEPP و قابلیت دست‌یابی به آن در شبکه اینترنت می‌باشند.^۲

معادله جهانی فرسایش خاک: USLE^۳

برخلاف برنامه‌های وابسته به فرایند در مدل WEPP، اکثر برآوردهای فرسایش خاک بر مدل‌های ساده‌تری متکی می‌باشند که به‌طور آماری میزان فرسایش را با تعدادی از عوامل که به سادگی قابل مشاهده‌اند، مرتبط می‌سازند. دانشمندان می‌توانند این مدل‌های تجربی را در صورت پیدا کردن شرایط مرتبط با فرسایش حتی در صورت عدم درک جزئیات این ارتباط، ابداع کنند. در بطن این مدل‌ها درک این مطلب است که فرسایش آبی نتیجه تعامل باران و خاک می‌باشد. ده‌ها سال تحقیقات فرسایش به روشی عوامل عمده‌ی مؤثر در این تعامل را مشخص ساخته‌اند. این عوامل در معادله‌ی جهانی فرسایش خاک به‌طور کمی مشخص شده‌اند که عبارتند از $A=RKLS$ که در آن A عبارتست از میزان فرسایش خاک که حاصل ضرب عوامل R شاخص فرسایش باران، K شاخص فرسایش پذیری خاک، L شاخص طول شیب، S شاخص تندی شیب، C شاخص پوشش و مدیریت و P شاخص عملیات مهار فرسایش می‌باشد. این عوامل باهم مشخص می‌سازند که چه مقدار آب داخل خاک گردیده، چه مقدار رواناب، چه مقدار خاک انتقال یافته و کجا و چه وقت ترسیب می‌یابد. برخلاف مدل WEPP، مدل USLE فقط برای برآورد میزان هدررفت خاک بر اثر فرسایش صفحه‌ای و شیاری در یک سال متوسط در یک منطقه خاص طراحی شده است. این مدل نمی‌تواند فرسایش را در یک سال خاص و یا یک رگبار خاص برآورد کند و همچنین نمی‌تواند میزان فرسایش آبکندی و تحویل رسوب را به رودخانه‌ها برآورد کند. هرچند، مدل نشان می‌دهد که چگونه می‌توان انتظار داشت که تغییر هر نوع ترکیب عوامل مربوط به مدیریت خاک و اراضی در میزان فرسایش خاک مؤثر باشند، و بنابراین، می‌تواند به‌عنوان وسیله‌ای در اتخاذ تصمیمات لازم برای انتخاب مؤثرترین راهبردها در حفاظت خاک مورد استفاده قرار گیرند.

^۱ - Water Erosion Prediction Project

^۲ - برنامه و بعضی پایگاه‌های اطلاعاتی را می‌توان از صفحه‌ی خانگی WEPP با نشانی <http://Soils.en.Purdue.edu 20002/-wepp.html> پیاده نمود.

^۳ - برای بحث بر روی USLE اصلی مقاله Wischmeier & smith 1978 مراجعه نموده و برای RUSLE به مقاله Renard, et al 1997 مراجعه نمایید.

معادله جهانی تجدیدنظر شده^۱ RUSLE :

مدل USLE از دهه ۱۹۷۰ به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است از ابتدای دهه ۱۹۹۰ USLE مورد تجدیدنظر قرار گرفته و اطلاعات آن بروز گردیده، به‌صورت رایانه‌ای درآمده، و سبب ارائه مدل برآورد فرسایش تحت نام RUSLE گردیده است. RUSLE از همان عوامل اساسی USLE که در بالا تشریح گردید، استفاده می‌کند. گرچه تعاریف و روابط متقابل در آن بهتر تشریح شده و سبب بهبود صحت برآورد فرسایش خاک شده است. RUSLE یک برنامه نرم‌افزاری رایانه‌ای می‌باشد که با کسب تجارب بیشتر در کاربرد آن در جهان به‌طور مداوم اصلاح و تغییر می‌یابد. اختلافات عمده بین USLE و RUSLE در جدول ۳-۱۷ آمده‌اند. همان‌طور که خواهیم دید، ۵ عامل مدل USLE^۲ چهارچوب مفیدی را برای درک فرسایش خاک و مهار کردن آن ارائه می‌دهند.

جدول ۳-۱۷ خلاصه‌ی اختلاف‌های عمده بین USLE و RUSLE

عامل	رابطه‌ی جهانی فرسایش USLE	رابطه‌ی جهانی فرسایش تجدیدنظر شده RUSLE
R	براساس شرایط بارش متوسط برای مناطق جغرافیایی خاص در آمریکا می‌باشد.	معمولاً همانند USLE در شرق آمریکا می‌باشد، اما مقادیر R در غرب آمریکا (از مونتانا تا نیومکزیکو و غرب) براساس اطلاعات از ایستگاه‌های هواشناسی بیشتری بوده و بنابراین، برای هر نقطه خاص به مراتب دقیق‌تر است. RUSLE برای بیان اثر ضربات باران بر روی آب تجمع یافته سطحی در مناطق مسطح یک ضریب اصلاحی برای R محاسبه می‌کند.
K	براساس بافت خاک، میزان ماده‌ی آلی، نفوذپذیری و سایر عوامل ذاتی مربوط به نوع خاک می‌باشد.	همانند USLE اما برای منظور نمودن تغییرات فصلی مانند یخ زدن و ذوب آن، رطوبت خاک و تثبیت خاک تنظیم و تعدیل یافته است.
LS	براساس طول و تندی شیب بدون توجه به کاربری اراضی می‌باشد.	این دو عامل USLE با توجه به معادلات جدید براساس نسبت فرسایش شیاری به بین‌شیاری بهبود یافته و برای استفاده در شیب‌های مرکب تطابق یافته است.
C	براساس توانایی کشت و کار، باقی‌ای سطحی، ناهمواری سطحی و پوشش آسمانه می‌باشد که با توجه درصد توزیع بارندگی فرساینده طی ۶ مرحله رشد نبات استوار است. این عوامل با هم در جدول نسبت هدررفت خاک در عملیات کشت و کار و خاک‌ورزی آمده‌اند.	از عوامل فرعی مانند کاربری قبلی، پوشش آسمانه، پوشش سطحی، ناهمواری سطحی و رطوبت خاک استفاده می‌کند. با تقسیم هرسال تناوب در فواصل ۱۵ روزه و محاسبه نسبت هدررفت خاک برای هر دوره سبب اصلاح USLE شده است. هر زمان که عملیات خاک‌ورزی یکی از عوامل فرعی را تغییر می‌دهد نسبت هدررفت خاک مجدداً محاسبه می‌شود. RUSLE برآوردهای بهتری از تغییرات هدررفت خاک را در سراسر سال به‌خصوص در ارتباط پس‌مانده‌های سطحی و نزدیک سطح خاک و اثرات اقلیم در تجربه پسمانده‌های گیاهی ارائه می‌دهد.
P	براساس اجرای عملیات که سبب کاهش سرعت رواناب و کاهش فرسایش خاک است، استوار است. مقادیر عامل P متناسب با تغییرات شیب تغییر یافته و ارتفاع برجستگی‌های مختلف تا حدی در نظر گرفته می‌شود.	مقدار عامل P براساس گروه‌های هیدرولوژیک خاک، تندی شیب ردیف‌های کشت، ارتفاع برجستگی‌ها، میزان شاخص فرسایش یک رگبار انفرادی با دوره برگشت ۱۰ ساله می‌باشد. RUSLE اثرات کشت نواری را با توجه به ظرفیت حمل جریان در نوارهای متراکم در ارتباط با میزان رسوب رسیده به آن نوار برآورد می‌کند. عامل P برای برنامه‌ریزی حفاظت خاک میزان و محل ترسیب را مورد نظر قرار می‌دهد.

^۱ -Revised Universal Soil Loss Equation

^۲ - در این کتاب از واحدهای SI استفاده می‌شود در نقشه‌های اصلی واحدها در نظام انگلیسی هستند در آن‌صورت A بر حسب تن (۲۰۰۰ پوند) در ایکر است که می‌تواند با ضرب در ۲/۲۴ به تن متریک در هکتار تبدیل شود.

۱۷-۵ عوامل مؤثر در فرسایش شیاری و بین شیاری

عامل فرساینده گی باران^۱ (R)

عامل فرساینده گی باران معرف نیروی جلویبرنده ی فرسایش شیاری و صفحه ای می باشد. این عامل کل بارندگی و مهم تر از آن، شدت بارندگی و توزیع فصلی آن را مورد نظر قرار می دهد. شدت بارندگی به دو دلیل دارای اهمیت زیادی است: (۱) باران های شدید دارای قطرات درشت تر بوده که منتج به ایجاد انرژی جنبشی بزرگ تری برای جدا کردن ذرات می باشد. (۲) هرچه شدت بارندگی بالاتر باشد، رواناب بیشتری فراهم شده که عاملی برای انتقال ذرات جدا شده قبلی است. ممکن است باران های آرام با شدت اندک حتی در صورت بالابودن میزان بارندگی سالانه فرسایش اندکی ایجاد کنند. برعکس، ممکن است چند بارش شدید در مناطق با بارندگی سالانه ی کم خسارات شدید به بار آورند. همین طور، هدررفت خاک در صورت نزول بارندگی، درست هنگام آب شدن خاک پیخ زده و یا برروی خاک فاقد پوشش به دلیل برهم زدن آن شدید می باشد.

شاخصی از انرژی جنبشی هر رگبارش از داده های مربوط به شدت و مقدار آن محاسبه شده، سپس شاخص های تمام رگبارش ها که در یک سال وقوع می یابند با همدیگر جمع گردیده و شاخص سالانه را ایجاد می کنند. متوسط این شاخص ها در سال های طولانی به عنوان میزان R در معادله ی جهانی فرسایش مورد استفاده قرار می گیرد. مدل RUSLE شامل مقادیر دقیق تر R به خصوص برای مناطق غرب آمریکا می باشد، این مدل همچنین توجه خاصی به برخورد قطرات باران در اراضی مسطح که روی آن ها آب جمع شده است، و به رواناب حاصل از ذوب خاک های پیخ زده مبذول می دارد.

شاخص بارندگی مناطقی از آمریکا در شکل ۱۰-۱۷ آمده است. توجه کنید که آن ها از کمتر از ۱۰ در مناطق غرب تا ۷۰۰ در طول ساحل لوئیزیانا متغیر می باشند (نقشه مقادیر R را در نظام انگلیسی ارائه می دهد که می تواند به واحد Si برحسب مگاژول- میلی متر/ هکتار- ساعت سال با ضرب آن ها در ۱۷/۰۲ تبدیل گردد). اطلاعات مشابهی برای سایر مناطق جهان ارائه شده است. معمولاً بارندگی در مناطق نیمه گرمسیری و گرمسیری تمایل دارد که دارای شدت و فرساینده گی بیشتری نسبت به مناطق معتدل باشد.

شدت بارندگی در اکثر مناطق چنان متغیر است که فرساینده گی واقعی در هر سال معمولاً ۲ تا ۵ برابر بزرگتر یا کوچکتر از معدل درازمدت می باشد. درواقع چند رگبارش شدید غیرمعمول، اکثر فرسایشی را که طی یک دهه خاص صورت می گیرد به خود اختصاص می دهند. عملیات حفاظت خاک براساس برآوردهای USLE و RUSLE با استفاده از شاخص فرساینده گی درازمدت باران (R) برای محدود کردن خسارت فرسایش از این رگبارش های نسبتاً نادر، اما فوق العاده خسارت بار کفایت نمی کند.

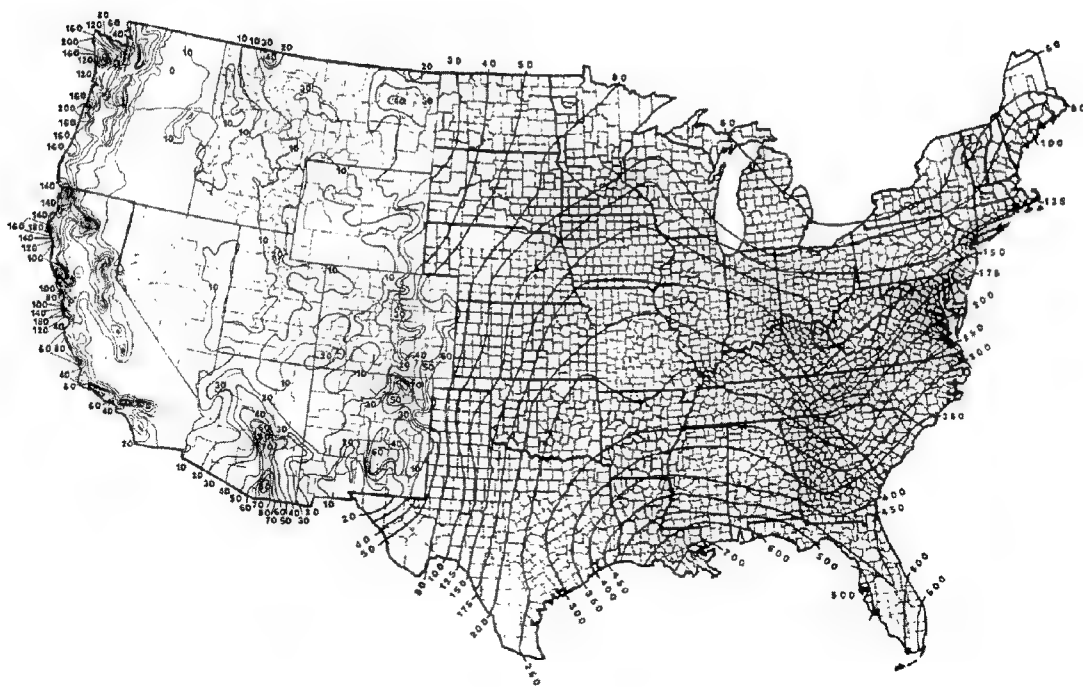
عامل فرسایش پذیری خاک (K)

عامل فرسایش پذیری خاک بیانگر حساسیت ذاتی یک خاک به فرسایش می باشد. مقدار K تخصیص یافته به یک نوع خاک مبین مقدار خاک هدریافته در واحد انرژی فرساینده گی باران در یک کرت استاندارد تحقیق فرسایش (با طول شیب ۲۲ متر و شیب ۹ درصد) است که در آن خاک به طور دائم یا انجام عملیات خاک ورزی فاقد پوشش نگهداری می شود.

دو خصوصیت بسیار مهم و در ارتباط نزدیک باهم خاک که در فرسایش پذیری مؤثرند عبارتند از ۱- ظرفیت نفوذ ۲- پایداری ساختمان. نفوذپذیری بالا به معنی وجود آب کمتر برای رواناب بوده و سطح خاک کمتر ماندابی می گردد (که آن را بسیار به پاشمان حساس می سازد). خاکدانه های پایدار خاک در مقابل ضربت قطرات باران مقاومت می کنند، و بنابراین، خاک ها را حتی در صورت وقوع رواناب، حفظ می کنند. خاک های رسی خاص در مناطق گرمسیری، که دارای هیدرواکسیدهای آهن و آلومینیم بالایی می باشند به خاطر خاکدانه های بسیار مقاوم آن ها که در مقابل بارش های سیل آسا مقاومت می کنند، مشهورند. رگبارش هایی با شدت های مشابه بر روی رس های قابل انبساط می تواند مصیبت بار باشند. خصوصیات اساسی خاک که سبب ایجاد مقادیر زیاد K می گردند، شامل میزان لای و شن خیلی ریز، کانی های رس متورم شونده، تمایل برای ایجاد سله ی سطحی، وجود لایه های غیرقابل نفوذ و ساختمان های مکعبی، بشقابی و یا متراکم خاک می باشند. خصوصیات خاک، که آن را در مقابل فرسایش مقاوم می سازند (مقادیر کم K) شامل میزان ماده ی آلی خاک، رس های غیرقابل انبساط، و ساختمان خاک دانه ای قوی می باشند. مقادیر تقریبی K برای خاک ها در مناطق انتخاب شده در جدول ۴-۱۷ نشان داده شده است. مقادیر K در موارد خاص که به وسیله ی برنامه RUSLE به دست آمده است تا حدی با این مقادیر متفاوت می باشند. توجه داشته باشید که مقادیر K در نظام SI

¹ -Rainfall Erosivity Factor

معمولاً از نزدیک صفر تا ۰/۱ متغیر است. خاک‌ها با میزان ظرفیت نفوذپذیری زیاد معمولاً دارای مقادیر K در حدود ۰/۰۲۵ و یا کمترند. درحالی‌که خاک‌های فرسایش‌پذیر با ظرفیت نفوذپذیری کم مقدار K ۰/۰۴ و یا بیشتر می‌باشد.



شکل ۱۰-۱۷ توزیع جغرافیایی مقادیر R برای فرسایش‌دگی باران در آمریکای قاره‌ای. به ارقام بزرگ در مناطق مرطوب نیمه‌گرمسیری در جنوب شرق که در آن‌ها باران سالانه‌ی زیاد و رگبارهای شدید معمول است توجه کنید. مقادیر مشابهی باران سالانه در اراضی ساحلی ایالت‌های اورگن و واشنگتن در شمال غرب سبب مقادیر R بسیار کمتری می‌شود، زیرا در آن‌جا باران به‌طور آرام در زمان طولانی نازل می‌شود. شیوه‌ی پیچیده در غرب به‌خاطر اثرات کوه‌ها است. واحدها در روی نقشه برحسب ۱۰۰ فوت‌تن‌اینچ درایکدر ساعت درسال است که برای تبدیل آن به واحد SI (مگاژول میلی‌متر درهکتار در ساعت درسال) باید در ۱۷/۰۲ ضرب شود.

بر خلاف USLE، RUSLE این واقعیت را به‌حساب می‌آورد که مقادیر K به‌طور فصلی تغییر می‌کنند. برای نمونه، در مناطق سرد ذوب‌شدن خاک یخ‌زده در بهار سبب ایجاد مقادیر بزرگ K می‌شود، زیرا خاک از آب فوق‌اشباع بوده و در اثر عمل یخ‌زدن و ذوب آن‌ها پف می‌کند. همچنین، مقدار عامل K RUSLE در خاک‌های دارای سنگ و سنگ‌ریزه در طول زمان، کاهش می‌یابد زیرا این خاک‌ها بعد از آن‌که ذرات ریز آن‌ها فرسایش یافت، به‌وسیله‌ی پوشش زره‌مانند قطعات سنگ محافظت می‌شوند.

عامل پستی و بلندی (LS)

عامل پستی و بلندی مبین تأثیر طول و شدت شیب بر فرسایش خاک بوده، و به‌صورت یک نسبت بدون بعد از هدررفت خاک در منطقه‌ی مورد نظر در صورت کسر و هدررفت خاک از کرت استاندارد (طول ۲۲ متر و شیب ۹ درصد) در مخرج کسر بیان می‌گردد. هرچه طول شیب بیشتر باشد امکان تراکم رواناب بیشتر است.

عامل LS در جدول ۵-۱۷ بیانگر افزایش عامل با افزایش طول و درصد شیب است. سه جدول فرعی برای مناطق دارای نسبت‌های پایین، متوسط و بالای فرسایش شیاری به بین‌شیاری (صفحه‌ای) ارائه شده است. اکثر مناطقی که تحت کشت‌وکار گیاهان ردیفی هستند دارای نرخ فرسایش شیاری و بین‌شیاری متوسط می‌باشند. در مناطقی که این نسبت پایین است مانند علف‌زارها اکثر فرسایش خاک به‌صورت بین‌شیاری است. در این مناطق تندی شیب دارای تأثیر نسبتاً بیشتری بر روی فرسایش است درحالی‌که طول شیب دارای اثر نسبتاً کمتری می‌باشد. عکس این قضیه برای مناطق حفاری شده جدید و سایر مناطق شدیداً دست‌خورده صادق می‌باشد. که در آن‌ها دارای نسبت‌های بالایی فرسایش شیاری به بین‌شیاری می‌باشند. در این‌جا که فرسایش شیاری غالب است طول شیب دارای تأثیر بیشتری است.

درحالی که این مقادیر کلی برای شیب‌های ساده با استفاده از رابطه USLE را می‌توان به کار گرفت، برنامه رایانه‌ای راسل مقادیر بسیار اختصاصی را برای موقعیت‌های خاص مزرعه‌ای، از جمله مقادیر مربوط به شیب‌های مرکب مورد محاسبه قرار می‌دهد.

جدول ۴-۱۷ مقادیر K محاسبه شده برای خاک‌ها در مناطق مختلف (مقادیر در نظام SI می‌باشند. ممکن است مدل رایانه‌ای راسل مقادیر دقیق‌تری را برای بعضی مناطق ارائه دهد).

خاک	محل	* مقدار K محاسبه شده
یودالف (لوم سیلتی دان کریک)	ژنوا، نیویورک	۰/۰۹۱
یودالف (لوم سیلتی کین)	زانسویل، اوهایو	۰/۰۶۳
یودولت (لوم لودی)	بلاکس برگ، ویرجینیا	۰/۰۵۱
یودولت (لوم رسی شن دار سیسل)	وات کینس ویل، جورجیا	۰/۰۴۸
اودول (لوم سیلتی مارشال)	کلاریندا، آیوا	۰/۰۴۴
یودالف (لوم رسی سیلتی هاگرس تاون)	استیت کالج، پنسیلوانیا	۰/۰۴۱
استول (سیلت استین)	تمپل، تگزاس	۰/۰۳۸
اکوالف (لوم سیلتی مکزیکو)	مک کریدی، مونتانا	۰/۰۳۴
ادولت (لوم شنی سیسل)	وات کینس ویل، جورجیا	۰/۰۳۰
الفی سول	اندوئزی	۰/۰۱۸
الفی سول	بنین	۰/۰۱۳
اکسی سول	ساحل عاج	۰/۰۱۳
ادولت (شن لومی تیفتون)	تیفتون، جورجیا	۰/۰۱۳
اولتی سول	هاوایی	۰/۰۱۲
الفی سول	نیجریه	۰/۰۰۸
اودپت (لوم سیلتی بات فلاگی ^۱)	ارونات، نیویورک	۰/۰۰۷
اولتی سول	نیجریه	۰/۰۰۵
اکسی سول	پرتوریکو	۰/۰۰۱

* برای تبدیل مقدار K از نظام SI (ha, mg, mm) / (mg, ha, h) به نظام انگلیسی (ton, acre, ft. ton, in) / 100 acre, ft. اعداد جدول در ۷/۶ ضرب می‌شوند.

عامل مدیریت و پوشش (C)

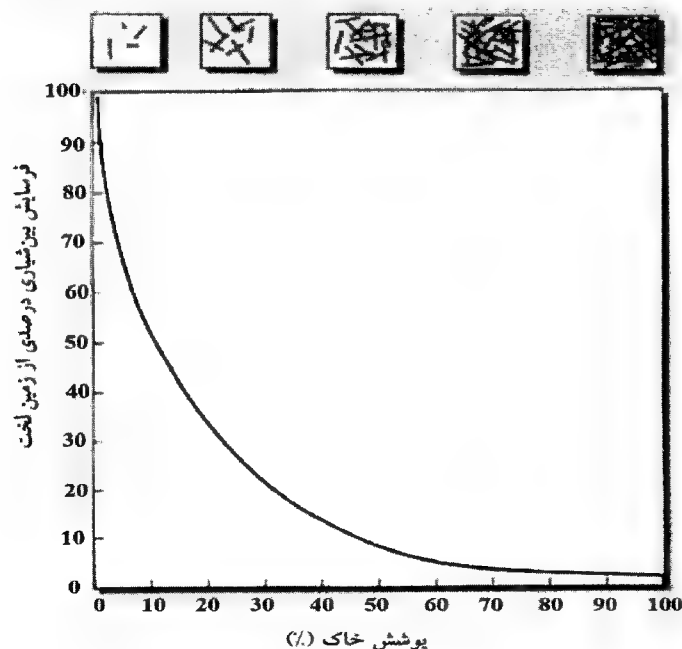
فرسایش خاک می‌تواند به آسانی بسیار به وسیله مدیریت پوشش گیاهی، پس مانده‌های گیاهی و عملیات خاک‌ورزی مهار گردد. فرسایش و رواناب به طور قابل ملاحظه‌ای به وسیله انواع پوشش گیاهی و نظام‌های زراعی تحت تأثیر قرار می‌گیرند (جدول ۶-۱۷). جنگل‌ها و علف‌زارهای متراکم بهترین پوشش خاک را فراهم کرده و میزان تأثیر آن‌ها تقریباً مساوی است. گیاهان علوفه‌ای (هم نیام‌داران و هم گونه‌های گندمیان) از نظر مؤثر بودن به خاطر پوشش متراکم خود در مرحله بعدی قراردادند. نباتات دانه‌ریز مانند گندم و چاودار در حد واسط قرار داشته و ممانعت قابل ملاحظه‌ای به شستشوی سطحی ارائه می‌دهند. گیاهان ردیفی مانند ذرت، سویا و سیب‌زمینی در مراحل رشد اولیه پوشش زنده اندکی ارائه می‌دهند؛ و بنابراین، خاک حساس به فرسایش باقی می‌ماند، مگر آن‌که پس مانده‌های زراعت قبلی سطح خاک را پوشش دهند. گیاهان پوششی شامل گیاهانی است که همانند گیاهان علوفه‌ای که هم اکنون اشاره گردید می‌باشند. آن‌ها می‌توانند سبب ایجاد پوشش در فاصله بین فصول رشد در گیاهان یک‌ساله گردند. برای گیاهان چندساله با فواصل زیاد مانند باغ‌های میوه و بوستان‌ها، گیاهان پوششی می‌توانند به طور دائم سبب حفاظت خاک در بین ردیف درختان و یا بوته‌های مو گردند. یک پوشش سطحی از پسمانده‌های گیاهی و یا سایر مواد نیز در حفاظت مؤثر می‌باشد. تحقیق در تمام قاره‌ها نشان داده است که لازم نیست خاک پوش سطحی چندان ضخیم باشد و یا تمام سطح خاک را به طور کامل پوشش دهد، تا سبب حفاظت خاک گردد. افزایش اندک در پوشش سطحی می‌تواند کاهش بزرگی را در فرسایش خاک، به خصوص در فرسایش بین‌شیاری فراهم آورد (شکل ۱۱-۱۷).

¹ - Bath flaggy silt loam

جدول ۵-۱۷ مقادیر معرف عامل پستی و بلندی (LS) در سه محل با درجه و طول شیب مختلف

درصد شیب	طول تقریبی (متر)				
	۲۵	۵۰	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰
مناطق با نسبت پایین فرسایش شیاری به بین شیاری (مراغه)					
۲	۰/۲۵	۰/۲۷	۰/۳	۰/۳۲	۰/۳۳
۴	۰/۴۷	۰/۵۵	۰/۶۴	۰/۷	۰/۷۵
۸	۰/۹۳	۱/۱۶	۱/۴۴	۱/۶۵	۱/۸
۱۲	۱/۵۸	۲/۰۵	۲/۶۵	۳/۰۸	۳/۴۲
۱۶	۲/۳	۳/۰۵	۴/۰۶	۴/۸	۵/۴
مناطق با نسبت متوسط فرسایش شیاری به بین شیاری (زراعت ردیفی)					
۲	۰/۲۵	۰/۲۹	۰/۳۵	۰/۳۸	۰/۴۱
۴	۰/۴۸	۰/۶۲	۰/۷۹	۰/۹۲	۱/۰۲
۸	۰/۹۴	۱/۳۲	۱/۸۴	۲/۲۴	۲/۵۷
۱۲	۱/۶۲	۲/۳۷	۳/۴۸	۴/۳۴	۵/۰۹
۱۶	۲/۳۵	۳/۵۴	۵/۳۳	۶/۷۷	۸/۰۳
مناطق با نسبت بالای فرسایش شیاری به بین شیاری مناطق ساخت و ساز و بسترهای کشت تازه					
۲	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۴۴	۰/۵۱	۰/۵۸
۴	۰/۴۹	۰/۷۱	۱/۰۲	۱/۲۷	۱/۴۸
۸	۰/۹۶	۱/۵۲	۲/۳۸	۳/۱۰	۳/۷۴
۱۲	۱/۶۵	۲/۷	۴/۴۳	۵/۹۱	۷/۲۴
۱۶	۲/۳۹	۴	۶/۶۹	۹/۰۳	۱۱/۱۷

خاکپوش پس مانده های گیاهی به طور مؤثر سبب کاهش فرسایش می شود



شکل ۱۱-۱۷ کاهش فرسایش بین شیاری
 پراثر افزایش درصد پوشش سطحی خاک
 نمودارها در بالای منحنی بیانگر پوشش
 ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد پوشش سطحی
 است. توجه کنید که حتی پوشش سبک
 سطحی اثر عمده ای بر کاهش فرسایش خاک
 دارد. منحنی درمورد فرسایش بین شیاری
 کاربرد دارد. ممکن است در شیب های تند
 مقداری فرسایش شیاری، حتی در صورت
 پوشش خوب خاک صورت گیرد.

جدول ۶-۱۷ اثر پوشش گیاهی بر فرسایش آبی در مناطق مرطوب غرب آفریقا (اطلاعات معدل بسیاری از مناطق نزدیک، همه با شیب‌ها و میزان بارندگی مشابه می‌باشند، اثر فرسایشی کشت‌وکار (با انواع ادوات خاک‌ورزی) به‌خصوص آیش فاقد پوشش تشریح شده است. اثر حفاظتی پوشش جنگلی دست‌نخورده نیز مشخص شده است.

نوع پوشش	تعداد محل‌ها	میانگین بارندگی، میلی‌متر در سال	رواناب، درصد بارندگی	فرسایش، تن در هکتار در سال
جنگل‌های حفاظت‌شده در مقابل آتش‌سوزی	۱۱	۱۲۹۳	۰/۹	۰/۱
جنگل‌ها با آتش‌سوزی سبک	۱۳	۱۲۸۹	۱/۱	۰/۲۷
آیش گیاهان طبیعی	۷	۱۲۰۳	۱۶/۶	۴/۸۸
بادام زمینی	۳۲	۱۳۲۹	۲۰/۷	۷/۷
برنج نقاط مرتفع (دیم)	۱۷	۹۴۶	۲۳/۳	۵/۵۲
ذرت	۱۷	۱۴۰۵	۱۷/۷	۷/۶۳
زراعت‌های ناموفق و خاک فاقد پوشش	۱۱	۱۱۵۴	۳۹/۵	۲۱/۲۸

تنظیم چرای احشام با حفظ پوشش متراکم در مراتع و علف‌زارها و تلفیق زراعت‌های علوفه‌ای در تناوب با گیاهان ردیفی در اراضی زراعی، می‌تواند به مهار فرسایش و رواناب کمک کند. به‌همین ترتیب استفاده از نظام‌های عملیات خاک‌ورزی حفاظتی، که اکثر پس‌مانده‌های گیاهی را در سطح باقی می‌گذارد، خطر فرسایشی را به‌مقدار زیادی کاهش می‌دهند.

عامل C در مدل‌های USLE و RUSLE عبارتست از نسبت فرسایش در شرایط موردنظر به مقدار فرسایش در خاک فاقد پوشش مداوم، وقتی پوشش خاک اندک باشد (بستر بذریه در بهار و یا خاک تسطیح‌شده جدید در مناطق ساختمان‌سازی) عامل C به ۱ می‌رسد. این عامل وقتی مقادیر زیادی پس‌مانده‌های گیاهی در روی زمین باقی بماند و یا در مناطقی با پوشش دائمی، این عامل پایین (کمتر از ۰/۱) است. عامل C مختص هر منطقه و یا هر نوع پوشش گیاهی و مدیریت خاک می‌باشد. برآوردها براساس داده‌های آزمایشی و یا تجارب مزرعه‌ای از کارمندان حفاظت خاک و برنامه‌ی RUSLE موجود است. نمونه‌های از مقدار C در جدول (۷-۱۷) آمده است.

عامل عملیات حمایتی P

در بعضی مناطق با طول، و یا درصد شیب زیاد، فرسایش مهارشده به‌وسیله‌ی مدیریت پوشش زنده‌ی پس‌مانده‌های گیاهی و عملیات خاک‌ورزی باید با ساخت سازه‌های فیزیکی و یا سایر مراحل برای هدایت و آرام‌ساختن جریان هرزآب تقویت گردد. این عملیات حمایتی مقدار عامل P را در مدل USLE مشخص می‌کند. عامل P عبارتست از نسبت هدررفت خاک در یک عملیات حفاظت خاک به هدررفت مشابه در صورت کشت گیاهان ردیفی در امتداد شیب می‌باشد. اگر عملیات حفاظتی انجام نشده باشد عامل P_۱ می‌باشد. عملیات حفاظتی شامل انجام عملیات کشت‌وکار در روی تراز، کشت نواری تراز یا نظام سکوبندی و آبراهه‌های چمنی است که همه‌ی آن‌ها تمایل به کاهش عامل P دارند. کشت‌وکار در روی تراز^۱: ردیف‌های گیاهی کشت در صورت تبعیت از تراز در عرض شیب زمین سبب کاهش سرعت جریان رواناب خواهند شد (اما اگر ردیف‌های کشت در امتداد بالا و پایین شیب باشند سبب تقویت تمرکز جریان و ایجاد آبکند می‌شوند). کشت بر روی برجستگی‌های ایجاد شده به‌موازات شیب حتی مؤثرتر می‌باشد. برجستگی‌ها باید برای حمل جریانات سنگین رواناب از مزرعه طراحی گردند (شکل ۱۲-۱۷ را مشاهده کنید).

در شیب‌های طولانی که در معرض فرسایش شیاری و ورقه‌ای می‌باشند، ممکن است مزارع به‌صورت نوارهای باریک در عرض شیب از گیاهان ردیفی مانند سیب‌زمینی و ذرت در تناوب با گیاهان علوفه‌ای و غلات دانه‌ریز طراحی شوند. آب نمی‌تواند به یک سرعت نامتعارف در نوارهای باریک گیاهان ردیفی برسد، نباتات علوفه‌ای و غلات دانه‌ریز رواناب را مهار می‌کنند. این نوع طراحی کشت نواری^۲ نامیده شده و مبنای مهار فرسایش را در بسیاری از مناطق کشاورزی تپه‌ماهور را تشکیل می‌دهد (شکل ۱۳-۱۷). این عملیات به‌منظور کاهش طول مؤثر شیب باید در نظر گرفته شوند.

^۱ -Contour cultivation

^۲ -Strip cropping

جدول ۷-۱۷ مثال‌هایی از مقدار C برای عامل پوشش و مدیریت. (عامل C بیانگر نسبت فرسایش خاک از یک نظام گیاهی خاص به نظامی است که در آن خاک به‌طور کامل فاقد پوشش باشد. به اثرات تاج‌پوشش، لاشبرگ سطحی (پس‌مانده‌های گیاهی) خاک‌ورزی و تناوب زراعی توجه کنید. عامل C وابسته به محل و شرایط خاص است و باید از اطلاعات محلی و یا رفتار رشد گیاهی و یا اقلیم و غیره محاسبه گردد. در ایالات متحده، ممکن است مقادیر خاص از برنامه رایانه‌ای RUSLE و یا از ادارات محلی سازمان حفاظت منابع طبیعی وزارت کشاورزی آمریکا، به‌دست آید.

پوشش گیاهی	شرایط و مدیریت	مقدار
گیاهان مرتعی و بوته‌های کوتاه، کم‌تراز یک متر	۷۵ درصد تاج‌پوشش، فاقد پوشش سطحی	۰/۱۷
گیاهان مرتعی و بوته‌های کوتاه، کم‌تراز یک متر	۷۵ درصد تاج‌پوشش، و ۶۰ درصد پوشش سطحی با لاشبرگ	۰/۰۳۲
بوته‌های خاردار در حدود ۲ متر ارتفاع	۲۵ درصد تاج‌پوشش، بدون لاشبرگ	۰/۴
بوته‌های خاردار در حدود ۲ متر ارتفاع	۷۵ درصد تاج‌پوشش، بدون لاشبرگ	۰/۲۸
درختان بدون زیراشکوب با ۴ متر ارتفاع	۷۵ درصد تاج‌پوشش، بدون لاشبرگ	۰/۳۶
درختان بدون زیراشکوب با ۴ متر ارتفاع سقوط قطره	۷۵ درصد تاج‌پوشش، ۴۰ درصد پوشش لاشبرگ	۰/۰۹
درخت‌زارها با زیراشکوب مرتعی و دایم	۷۵ درصد تاج‌پوشش، ۱۰۰ درصد پوشش لاشبرگ	۰/۰۰۳
درخت‌زارها با زیراشکوب مرتعی و دایم	۹۰ درصد تاج‌پوشش، ۱۰۰ درصد پوشش لاشبرگ	۰/۰۰۱
درخت‌زارها با زیراشکوب مرتعی و دایم	پوشش متراکم چمن	۰/۰۰۳
تناوب ذرت و لوبیا روغنی	شخم پایزه، عملیات خاک‌ورزی سستی، پس‌مانده‌های گیاهی برداشت شده	۰/۵۳
تناوب ذرت و لوبیا روغنی	خیش قلمی، عملیات خاک‌ورزی شخم-کشت حفاظتی با ۲۵۰۰ کیلوگرم هکتار پس‌مانده‌های گیاهی بعد از کشت	۰/۲۲
تناوب ذرت و لوبیا روغنی	کشت بدون هیچ نوع عملیات خاک‌ورزی با ۵۰۰۰ کیلوگرم پس‌مانده‌های گیاهی بعد از کشت	۰/۰۶
تناوب ذرت-سویا-گندم-علوفه	شخم پایزه با عملیات خاک‌ورزی سستی، بقایا برداشت شده	۰/۲
تناوب ذرت-سویا-گندم-علوفه	عملیات خاک‌ورزی حفاظتی، شخم بهاره با خیش قلمی با ۲۵۰۰ kg/ha پس‌مانده‌های گیاهی در سطح پس از کشت	۰/۱۳
تناوب ذرت-سویا-گندم-علوفه	کشت بدون عملیات خاک‌ورزی، kg/ha با ۵۰۰۰ بقایای گیاهی در سطح پس از کشت	۰/۰۵
تناوب ذرت-یولاف-علف-علف	شخم سستی بهاره قبل از کشت	۰/۰۵
تناوب ذرت-یولاف-علف-علف	کشت بدون عملیات خاک‌ورزی	۰/۰۳



شکل ۱۲-۱۷ پشته‌های تراز باید به‌دقت پیاده شده و دارای ارتفاع کافی برای نگهداری آب حتی در باران‌های شدید باشند. در این‌جا نگهداری سطحی به سرعت به رواناب تبدیل می‌شود

هنگامی نوارهای عرضی در امتداد خطوط تراز پیاده شوند، نظام کشت نواری تراز نامیده می‌شود. عرض نوارها عمدتاً بستگی به درجه‌ی شیب، نفوذپذیری اراضی و فرسایش‌پذیری خاک دارد. عرض نوار از ۳۰ متر تا ۱۵۰ متر معمول است. کشت نواری اغلب با نهرهای انحرافی و آبراهه‌ها در بین مزارع تلفیق می‌گردد. گیاهان چمنی استقرار یافته در خط‌القم‌ر بین اراضی ایجاد آبراهه‌ی چمنی^۱ می‌کند که می‌تواند رواناب را به‌طور مطمئن بدون ایجاد آب‌بند، به پایین شیب هدایت کند (شکل ۱۳-۱۷ را مشاهده کنید).



شکل ۱۳-۱۷ عکس هوایی مزرعه‌ای در ایالت کنتاکی که در آن کشت نواری تراز انجام شده و آبراهه چمنی (پیکان را مشاهده کنید) جریان آب را از اراضی زراعی تنظیم نموده و از فرسایش آب‌کندی جلوگیری می‌کند (عکس جای‌گذاری شده) یک آبراهه‌ی چمنی در حال کارکردن را نشان می‌دهد، که چگونه ریشه گیاهان چمنی دائمی می‌توانند در مقابل نیروی کنش آب مقاومت نموده، و آنرا بدون هر خطری از مزرعه خارج سازند.

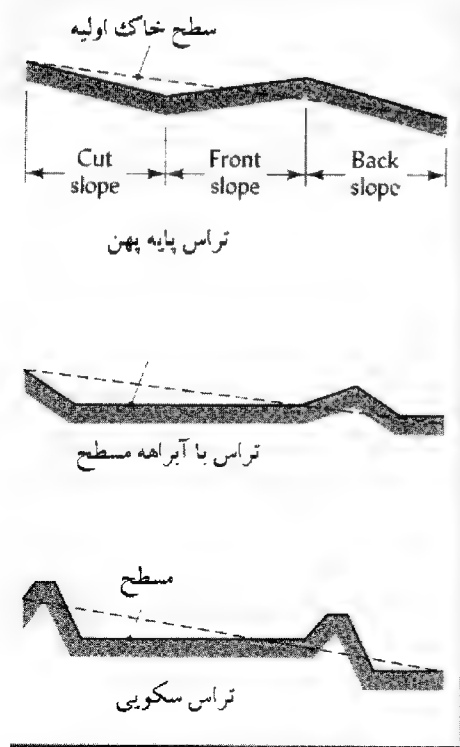
سکوبندی- تراس‌سازی^۲: ایجاد انواع تراس‌ها سبب کاهش طول و درجه شیب مؤثر در یک دامنه می‌گردد (شکل ۱۴-۱۷). تراس‌های سکوبی^۳ زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرند که مهار کامل رواناب مانند مزارع برنج موردنظر باشد. وقتی زارعین از ماشین‌آلات بزرگ استفاده می‌کنند و ناچار به کشت‌وکار در تمام سطح اراضی در یک مزرعه باشند، تراس‌های پایه عریض^۴ معمول می‌باشند. این تراس‌ها زمین اندکی و یا اصلاً زمینی را به هدر نداده و اگر به‌خوبی نگهداری شوند بسیار مؤثر می‌باشند. آب‌های جمع‌آوری شده در پشت هر تراس به آرامی در عرض مزرعه (به‌جای جریان درجه‌ت شیب به‌طرف پایین) در آبراهه تراس با شیب ۰/۵ درصد جریان می‌یابد. آبراهه تراس اغلب رواناب حاصل را به یک آبراهه چمنی هدایت می‌کند، که از آن‌جا آب به‌طرف پایین تپه به یک آبراهه، جوی و یا رودخانه روان می‌گردد.

^۱-Grassed water way

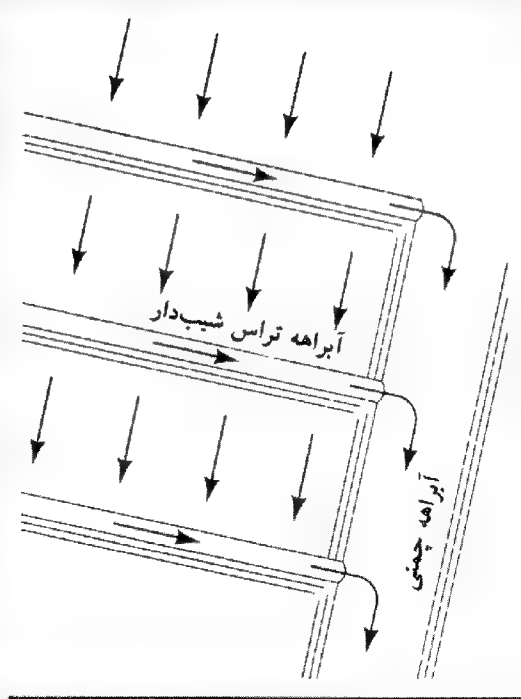
^۲-Terracing

^۳-Bench terraces

^۴-Broad base terrace



(الف)



(ب)

شکل ۱۴-الف سه نوع تراس مورد استفاده در سرتاسر دنیا. تراس‌های پایه پهن امکان کشت سرتاسر مزرعه را فراهم ساخته و در ایالات متحده آمریکا به‌طور خیلی گسترده مورد استفاده می‌باشند. تراس‌های با آبراهه مسطح اجازه جابه‌جایی مقدار زیاد آب را بدون هر نوع فرسایش ممکن می‌سازند. تراس‌های سکویی سبب نگهداری آب در سطح زمین گردیده و به‌طور گسترده‌ای برای تولید برنج به‌کار می‌روند. ب نمودار مهار رواناب از یک مزرعه به آبراهه‌ی تراس، و از آنجا به‌داخل آبراهه‌ی چمنی که از آنجا آب می‌تواند به یک نهر و یا رودخانه انتقال یابد.

نمونه‌های مقدار ^۱P برای کشت‌وکار تراز و کشت نواری در درجات مختلف شیب در جدول ۸-۱۷ آمده است. توجه داشته باشید که مقدار P با افزایش درجه‌ی شیب افزایش می‌یابد و برای کشت نواری این عدد کوچک است، که بیانگر اهمیت این عملیات در مهار فرسایش است. تراس‌بندی مقدار P را کاهش می‌دهد. برخلاف USLE، مدل RUSLE تعامل بین عملیات حمایتی و فاکتورهای فرعی مانند شیب و نفوذ آب را در محاسبات معمول می‌دارد. ۵ عامل USLE (P.C.L.S ، K.R) رهیافت‌های متعددی را برای کنترل عملی فرسایش خاک ارائه نموده‌اند. یک نمونه از محاسبات در تابلو شماره‌ی ۱-۱۷ آمده است.

بیشتر از نصف خاک فرسایش‌یافته در آمریکا از کشت‌زارها و بقیه از جنگل‌ها، مراتع و مناطق ایجاد ساختمان حاصل می‌شود. حال توجه خود را به فناوری‌های متعدد مهار فرسایش، که مناسب این کاربری‌های مختلف اراضی می‌باشد، معطوف می‌داریم.

^۱ - بسیاری از عملیات مهار فرسایش و یا روشهای مدیریتی که در اینجا در ارتباط با عوامل C و P بحث گردید، و یا در بقیه بخشهای این فصل مورد بحث قرار خواهند گرفت بعنوان بهترین عملیات مدیریتی (Best Management Practices (BMPs) در طرح آب تمیز در آمریکا مورد توجه قرار می‌گیرند. طرح، BMP را چنین تعریف کرده است: انواع عملیات و روشهای بهینه برای کاهش و یا حذف آلودگی آب از فعالیتهای کاربری اراضی می‌باشند

تابلو ۱-۱۷ محاسبات هدررفت خاک قابل انتظار با استفاده از معادله‌ی USLE

برنامه‌ی نرم‌افزاری RUSLE برای محاسبه هدررفت فرسایش از یک نظام زراعی حساس در منطقه مورد نظر طراحی شده است. اصول موجود در هردو مدل USLE و RUSLE می‌تواند با انجام محاسباتی با استفاده از مدل USLE و عوامل همراه آن مورد بررسی قرارگیرد. توجه داشته باشید که عوامل موجود در USLE به صورت حاصلضرب بوده و بنابراین، اگر بتوان هر یک را به صفر نزدیک کرد، میزان هدررفت (A) به نزدیکی صفر خواهد رسید.

برای نمونه، فرض کنید نقطه‌ای در ایالت آیوا با خاک لوم سیلنی مارشال و شیب متوسط ۴٪ و طول شیب ۵۰ متر قرار گرفته، و زمین در خاک‌ورزی فاقد پوشش درحال آیش است. شکل ۱۰-۱۷ نشان می‌دهد که عامل R در این منطقه حدود ۱۵۰ واحد در نظام انگلیسی و یا ۲۵۰۰ (۱۷×۱۵۰) در نظام SI می‌باشد. میزان K برای خاک لوم سیلنی مارشال در ایالت آیوا مرکزی ۰/۰۴۴ است (جدول ۴-۱۷) و عامل پستی و بلندی مطابق جدول (۵-۱۷) ۰/۷۱ (نسبت بالای فرسایش شیاری به بین‌شیاری در خاک فاقد پوشش) می‌باشد. از آن‌جاکه پوشش و یا هر نوع مدیریت دیگر برای ممانعت از فرسایش وجود ندارد، عامل C_۱ می‌باشد. اگر فرض کنیم عملیات خاک‌ورزی به طرف بالا و پایین درحال انجام باشد مقدار P نیز ۱ خواهد بود. بنابراین، هدررفت پیش‌بینی شده را می‌توان با استفاده از رابطه‌ی جهانی فرسایش (A=RKLSCP) برآورد کرد که عبارتست از:

$$A = (2500) \times (0.044) \times (0.71) \times (1) \times (1) = 79/7 \text{ مگاگرم در هکتار در سال}$$

اگر تناوب زراعی شامل ذرت - سویا - علوفه و نظام عملیات خاک‌ورزی حفاظتی (شخم بهاره با خیش قلمی) مورد استفاده قرار می‌گرفت، مقدار قابل ملاحظه‌ای پس‌مانده‌های گیاهی در سطح خاک باقی می‌ماند. در این شرایط عامل C ممکن است به ۰/۱۳ برسد (جدول ۷-۱۷). همین‌طور اگر خاک‌ورزی و کشت در امتداد تراز انجام گردد، مقدار P به ۰/۵ کاهش خواهد یافت (جدول ۸-۱۷). اگر تراس‌های با خروجی‌های باز به فاصله‌ی هر ۴۰ متر، پیاده گردند مقدار P نیز می‌تواند حتی به مقدار کمتری ۰/۴ (۰/۵×۰/۸) کاهش یابد. به علاوه با وجود زراعت بر روی زمین نسبت فرسایش شیاری به بین‌شیاری متوسط بوده و مقدار LS با توجه به بخش میانی جدول ۵-۱۷، ۰/۶۲ خواهد بود. با این مقادیر میزان فرسایش عبارتست از:

$$A = (2500) \times (0.044) \times (0.62) \times (0.13) \times (0.4) \times 0.6 = 3/6 \text{ مگاگرم در هکتار در سال}$$

واحد عوامل برای انجام محاسبه عبارتست از:

$$\frac{Mg}{ha.yr} = \frac{(Mf.mm)}{(ha.h.yr)} \times \frac{(Mg.ha.h)}{(ha.Mf.mm)}$$

P و C و LS فاقد واحد می‌باشند

مزایای پوشش خوب، مدیریت و عملیات حمایتی آشکار است. ارقام ارائه‌شده نمونه‌ای از مفید بودن USLE را ارائه می‌دهند. محاسبات برای هر موقعیت خاص قابل انجام است. در آمریکا ارقام مربوط به هر فاکتور که می‌تواند در برآورد فرسایش در محل خاصی به کار رود، معمولاً در ادارات دولتی خدمات حفاظت موجود است. عوامل لازم نیز در نرم‌افزار RUSLE منظور شده‌اند.

جدول شماره ۸-۱۷ عامل P برای کشت و کار تراز و کشت نواری در شیب‌های مختلف و عامل فرعی تراس‌بندی در فواصل مختلف تراس‌بندی. حاصلضرب عوامل شخم تراز و یا کشت نواری با فاکتور فرعی تراس مقدار P را برای اراضی تراس‌بندی نشان می‌دهد.

شیب درصد	فاکتور P کشت و کار تراز	فاکتور P کشت نواری	فاکتور فرعی تراس P		
			فاصله تراس (متر)	خروجی بسته	خروجی باز
۱-۲	۰/۶	۰/۳	۳۳	۰/۵	۰/۷
۳-۸	۰/۵	۰/۲۵	۳۳-۴۲	۰/۶	۰/۸
۹-۱۲	۰/۶	۰/۳	۴۳-۵۴	۰/۷	۰/۸
۱۳-۱۶	۰/۷	۰/۳۵	۵۵-۶۸	۰/۸	۰/۹
۱۷-۲۰	۰/۸	۰/۴	۶۹-۹۰	۰/۹	۰/۹
۲۱-۲۵	۰/۹	۰/۴۵	۹۰	۱	۱

۶-۱۷ عملیات خاک‌ورزی حفاظتی^۱

در طول قرن‌های متمادی عملیات کشاورزی مرسوم در سراسر جهان سبب انجام خاک‌ورزی گسترده بوده است که باعث باقی ماندن خاک فاقد پوشش بدون محافظت در مقابل صدمات فرسایش می‌شود. در طول سه دهه‌ی گذشته، دو پیشرفت فناوریانه به بسیاری از زارعین امکان داده است که با مدیریت خاک‌های خود در نظام کاهش عملیات خاک‌ورزی و یا نظام عدم انجام عملیات خاک‌ورزی از عملیات خاک‌ورزی مرسوم اجتناب ورزند. اول پیشرفت به‌دست آمده در ارائه‌ی علف‌کش‌ها می‌باشد که علف‌ها را به‌عوض روش مکانیکی به‌طور شیمیایی می‌کشند. دوم ابداع ماشین‌آلاتی به‌وسیله‌ی زارعین و کارخانه‌های ساخت ادوات می‌باشد که می‌تواند بذر گیاهان را حتی در صورت پوشش خاک به‌وسیله‌ی پس‌مانده‌های گیاهی بکارند. این پیشرفت‌ها سبب حذف دو علت عمده‌ی انجام عملیات خاک‌ورزی به‌وسیله‌ی زارعین گردیده است.

علاقتمندی زارع به نظام عملیات خاک‌ورزی کاهش یافته^۲ از آن‌جاکه مشخص شده است که این نظام سبب تولید عملکرد مساوی و یا بیشتر، ضمن صرفه‌جویی در زمان و سوخت، پول و حفظ خاک می‌باشد، ارتقا خواهد یافت. عامل آخری یعنی حفظ خاک سبب کسب نام عملیات خاک‌ورزی حفاظتی در این نظام شده است.

نظام‌های عملیات خاک‌ورزی حفاظتی

در حالی‌که امروزه نظام‌های مختلف عملیات خاک‌ورزی حفاظتی در حال انجام است (جدول ۹-۱۷)، همگی به‌طور کلی حاکی از باقی‌گذاشتن مقادیر قابل توجه از پس‌مانده‌های آلی در سطح خاک بعد از عملیات کاشت می‌باشند. به‌خاطر داشته باشید که خاک‌ورزی مرسوم اول شامل شخم گاواهن برگردان‌دار است (شکل ۱۵-۱۷ الف) که به‌طور کلی علف‌هرزها و پس‌مانده‌های گیاهی را مدفون نموده و به‌دنبال آن یک تا سه بار عبور دندانه برای شکستن کلوخه‌های بزرگ، و سپس کشت محصول، و همچنین چندین بار عملیات دندانه‌زدن بین ردیف نباتات برای ازبین بردن علف هرز انجام می‌شود. هربار عبور ادوات خاک‌ورزی سبب تازه عریان‌شدن خاک و همچنین ضعیف‌گشتن ساختمان خاک می‌گردد، که سبب می‌شود پایداری خاک در مقابل فرسایش کاهش یابد.

نظام‌های مختلف خاک‌ورزی از نظام‌های کاهش عملیات اضافی خاک‌ورزی تا نظام‌های بدون عملیات خاک‌ورزی که به‌غیر از اندک به‌هم‌زدن خاک به‌مقدار چند سانتی‌متر در هنگام بازکردن شکاف بذرکاری در داخل پس‌مانده‌های گیاهی، از هیچ نوع عملیات خاک‌ورزی استفاده نمی‌کند متغیر می‌باشند (شکل ۱۵-۱۷ ج).

شخم با گاواهن برگردان‌دار برای باقی‌گذاشتن زمین به‌صورت تمیز که فاقد پس‌مانده‌های گیاهی سطحی می‌باشد، طراحی شده است. در مقابل نظام‌های خاک‌ورزی حفاظتی مانند خیش قلمی (شکل ۱۵-۱۷ ب)، سبب به‌هم‌زدن خاک شده اما پس‌مانده‌های گیاهی را به‌طور نسبی با خاک مخلوط کرده و بیشتر از ۳۰ درصد آن‌ها را در سطح خاک باقی می‌گذارد. خاک‌پوش کلتی^۳، که اثرات حفاظت آب آن در فصل‌های گذشته روشن گردید، نمونه‌ی دیگری از عملیات خاک‌ورزی حفاظتی است. شخم پشته‌ای^۴ یک نظام خاک‌ورزی حفاظتی است که در آن گیاهان در راس یک برجستگی ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متر کشت می‌شوند. در این روش حدود ۳۰ درصد پوشش خاک نگهداری گشته، و برجستگی‌ها تا اندازه‌ای برای کشت خراش داده شده، سپس به‌وسیله‌ی عملیات خاک‌ورزی کم‌عمق برای مبارزه با گیاهان هرز برجستگی بازسازی می‌شود.

در نظام بدون خاک‌ورزی^۵ انتظار داریم که ۵۰ تا ۱۰۰ درصد سطح خاک پوشیده باقی بماند (جدول ۱۰-۱۷). نظام بدون عملیات خاک‌ورزی دایم با مدیریت خوب در مناطق مرطوب شامل گیاهان پوششی در طول زمستان و گیاهان دارای پس‌مانده‌های گیاهی فراوان در تناوب می‌باشد. این نظام‌ها سبب ایجاد پوشش کامل خاک در تمام مواقع شده و سبب ایجاد لایه‌های آلی سطحی خاک تا اندازه‌ای شبیه لایه‌های سطحی است که در خاک‌های جنگلی یافت می‌شوند.

^۱ -Conservation tillage

^۲ -Reduced tillage

^۳ -Stubble mulching

^۴ -Ridge plowing

^۵ -No Tillage

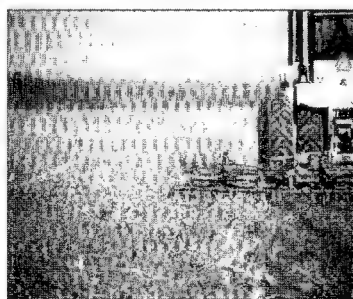
نظام‌های خاک‌ورزی حفاظتی معمولاً سبب ایجاد عملکردی مساوی و یا بیشتر از نظام خاک‌ورزی معمول می‌شوند به شرط آن‌که خاک دارای زه‌کشی ناقص نبوده و در منطقه‌ای خنک قرار نگرفته باشد. هرچند درحین گذار از خاک‌ورزی مرسوم به نظام بدون خاک‌ورزی میزان عملکرد برای چندین سال به دلایلی چند که در مباحث فرعی زیر تشریح شده‌اند اندکی کاهش می‌یابد.

جدول ۹-۱۷ طبقه‌بندی کلی نظام‌های مختلف خاک‌ورزی حفاظتی (تمام نظام‌ها حداقل ۳۰ درصد بقایای محصول را در سطح خاک نگهداری می‌کنند)

نظام خاک‌ورزی	عملیات موجود
نبود عملیات (No-till)	در خاک به‌هم‌نخورده قبل از کشت بستر پذیر در عرض ۷/۵ - ۲/۵ سانتی‌متر ایجاد شده و مبارزه با علف‌های هرز با علف‌کش انجام می‌شود
خاک‌ورزی پشته‌ای Ridge till (till, plant)	در خاک به‌هم‌نخورده، کشت در پشته‌هایی که ۱۵ - ۱۰ سانتی‌متر بلندتر از وسط ردیف‌هاست انجام می‌پذیرد. بقایا یا کنار زده شده و یا در ۱/۳ سطح خاک با خاک زیری مخلوط می‌شوند. از علف‌کش و عملیات شخم و شیار برای مبارزه با علف‌های هرز استفاده می‌شود
خاک‌ورزی نواری Strip till	خاک به‌هم‌نخورده قبل از کشت. عملیات خاک‌ورزی در ردیف‌های کم‌عرض کم‌عمق با استفاده از دندانه‌ای دوار (Rotary tiller) و یا اسکنه ردیفی (In-row chisel) انجام می‌شود. در ۱/۲ سطح خاک در هنگام کشت خاک‌ورزی می‌گردد. علف‌کش و دندانه برای مبارزه با علف‌های هرز مورد استفاده قرار می‌گیرند.
خاک‌ورزی خاک‌پوش Mulch till	سطح خاک قبل از کشت به‌وسیله‌ی عملیات خاک‌ورزی به‌هم زده می‌شود، اما حداقل ۳۰٪ پس‌مانده‌های گیاهی در رو و یا در نزدیکی سطح خاک باقی می‌ماند. وسایلی مانند اسکنه (Chisel)، دندانه‌ی مزرع‌ای، خاک‌ورز بشقابی و پنجه‌سازی در این روش به‌کار می‌رود می‌رود خاک‌پوش کشتی ^۱ از علف‌کش‌ها و دندانه برای ازبین‌بردن علف‌های هرز استفاده می‌شود.
خاک‌ورزی کاهش‌یافته Reduced tillage	به هر نوع نظام کشت‌وکار دیگر؛ که حداقل ۳۰ درصد بقایا را در روی سطح نگهداری کند اطلاق می‌گردد.



(الف)



(ب)



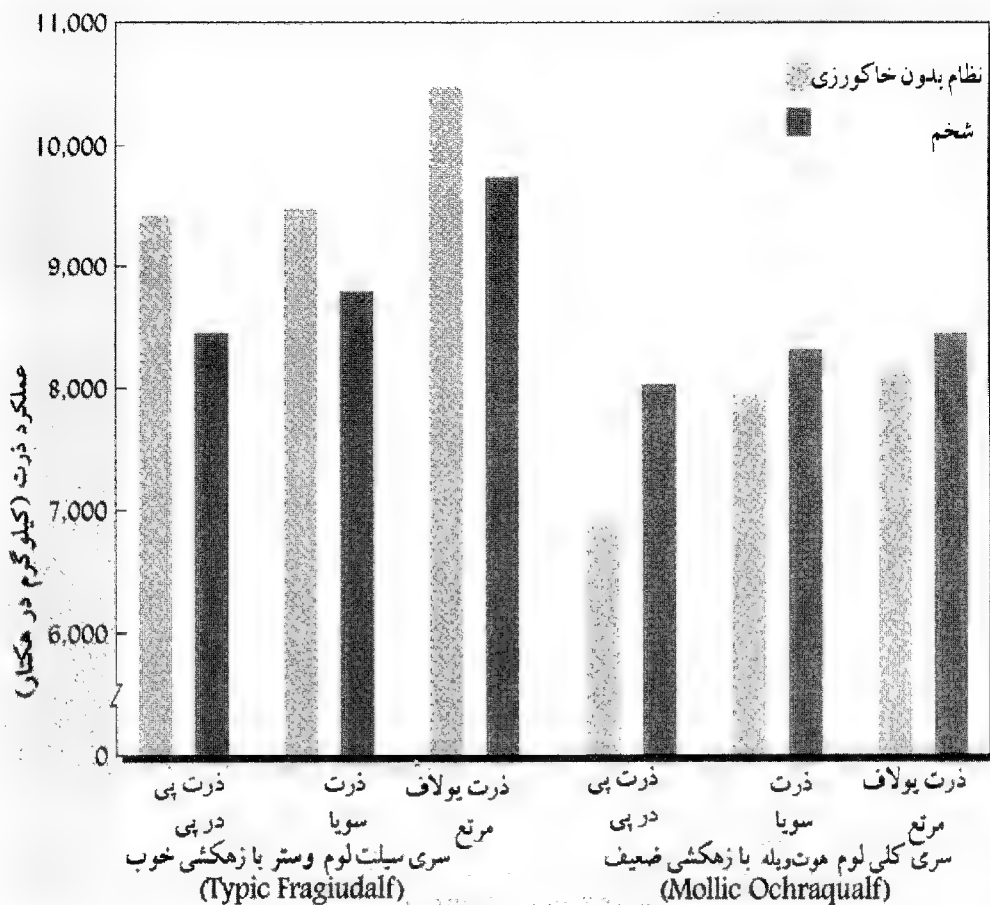
(ج)

شکل ۱۵-۱۷ عملیات خاک‌ورزی مرسوم و حفاظتی. (الف): در یک خاک‌ورزی حفاظتی گاواهن برگردان‌دار افق بالایی خاک را بر می‌گرداند، تمام پس‌مانده‌های گیاهی را دفن کرده و یک سطح خاک لخت به‌وجود می‌آورد. (ب) خیش قلمی یک نوع از ادوات خاک‌ورزی حفاظتی سبب به‌هم‌زدن خاک شده اما مقدار زیادی از پس‌مانده‌های گیاهی در روی سطح خاک باقی می‌ماند. (ج) در نظام بدون خاک‌ورزی یک نبات مستقیماً در داخل یک زراعت پوششی و یا پس‌مانده‌های زراعت قبل فقط با به‌هم‌زدن نوار باریکی مستقیماً کشت می‌گردد. نظام بدون خاک‌ورزی عملاً تمام پس‌مانده‌های گیاهی را در سطح خاک باقی می‌گذارد و حدوداً ۱۰۰٪ پوشش ایجاد کرده و تقریباً هدررفت فرسایش را حذف می‌کند. در این‌جا سویا در داخل یک زراعت پوششی که با یک علف‌کش برای ایجاد خاک‌پوش سطحی از بین می‌رود کشت می‌گردد.

^۱ -Stubble mulch

جدول ۱۰-۱۷ اثرات نظام خاک‌ورزی در نبراسکای آمریکا بر درصد اراضی که با پس‌ماندها پوشش یافته‌اند. توجه داشته باشید که گاواهن برگردان‌دار معمول اساساً پوششی فراهم نمی‌کند، درحالی‌که نظام نبود عملیات خاک‌ورزی و یا خاک‌ورزی پسته‌ای بهترین پوشش را فراهم می‌سازد.

درصد مزارع با بقایای بیش از				تعداد مزارع	نظام عملیات خاک‌ورزی	
۳۰	۲۵	۲۰	۱۵			
۰	۰	۰	۳	۳۳	Moldboard	گاواهن برگردان‌دار
۰	۵	۱۵	۴۰	۲۰	Chisel	خیش قلمی
۴	۹	۲۰	۴۰	۱۶۵	Disk	بشقاب
۰	۰	۲۳	۴۶	۱۳	Farm cultivator	دندانهای مزرعه
۰	۵۰	۵۰	۱۰۰	۲	Ridge till	خاک‌ورزی پسته‌ای
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۳	No-till	نبود عملیات
۴	۹	۱۸	۳۶	۲۳۶		تمام نظام‌ها

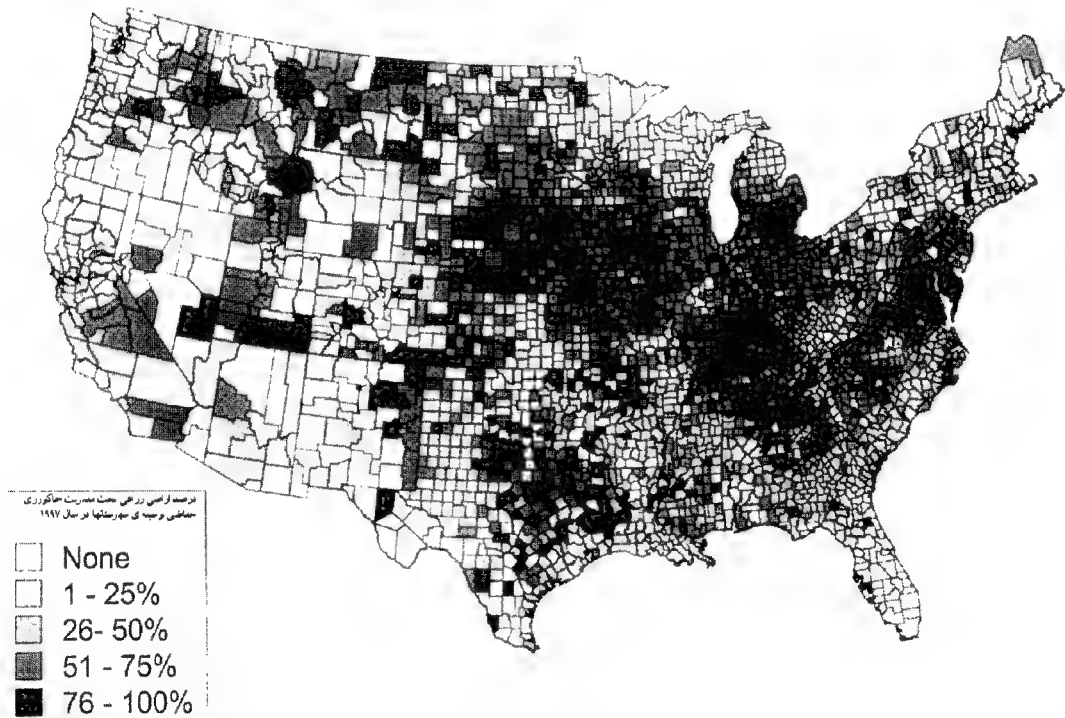


شکل ۱۶-۱۷ اثر نظام‌های مختلف خاک‌ورزی بر عملکرد ذرت در تناوب‌های مختلف با زه‌کشی خوب و زه‌کشی ضعیف، نظام عملیات خاک‌ورزی حفاظتی در خاک‌هایی با زه‌کشی خوب برتری داشته، ولی در خاک‌هایی با زه‌کشی ضعیف عملکرد کمتری داشته است. اطلاعات حاصل متوسط ۵ سال است.

پذیرش به‌وسیله‌ی کشاورزان

در سال‌های اخیر خاک‌ورزی حفاظتی به‌طور مداوم رواج یافته و در حدود $\frac{1}{5}$ اراضی کشور آمریکا مورد استفاده می‌باشد. متخصصین حفاظت خاک پیش‌بینی می‌کنند که در دهه‌ی آینده ۷۵ درصد اراضی زراعی در آمریکا با نوعی عملیات خاک‌ورزی حفاظتی مدیریت خواهند شد. هم‌اکنون ۸۰ درصد و یا بیشتر اراضی زراعی در چند منطقه‌ی محدود در آمریکا به‌وسیله‌ی عملیات حفاظتی مدیریت می‌شوند (شکل ۱۷-۱۷).

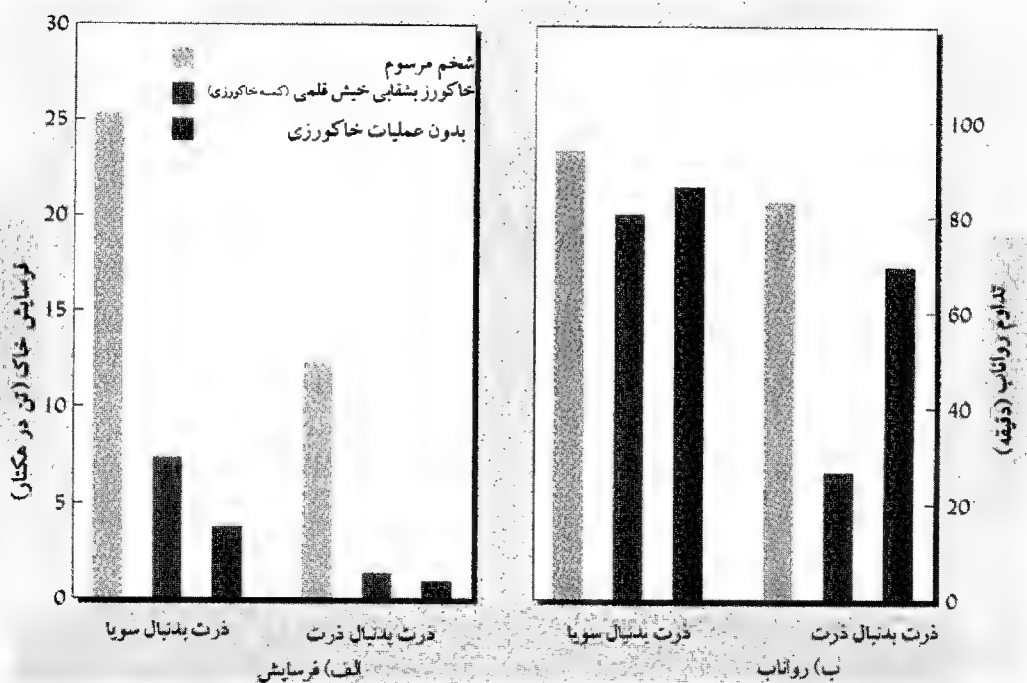
نظام‌های نبود عملیات خاک‌ورزی به‌خصوص تقریباً در تمام مناطق کشور توزیع یافته و حال به‌صورتی تقریباً در نصف سطح تمام اراضی تحت عملیات خاک‌ورزی حفاظتی مدیریت می‌شود. نظام نبود عملیات به‌طور مداوم در بعضی از مزارع در شرق آمریکا از سال ۱۹۷۰ (۲۰ تا ۳۰ سال بدون هر نوع خاک‌ورزی دیگر) مورد استفاده بوده است. نظام نبود عملیات و سایر نظام‌های خاک‌ورزی حفاظتی همچنین در سایر مناطق جهان مورد استفاده قرار گرفته‌اند. یکی از مثال‌های قابل توجه گسترش نظام نبود عملیات در جنوب برزیل است. هزاران زارع کم‌نسب دارای زراعت سویا و یا ذرت در این منطقه به‌وسیله‌ی آموزش و همراهی دولت حمایت شده و به‌طور موفقیت‌آمیزی نظام‌های نبود عملیات خاک‌ورزی متکی به گیاهان پوششی را با استفاده از نیروی کشش دامی و یا تراکتورهای کوچک تطابق داده‌اند.



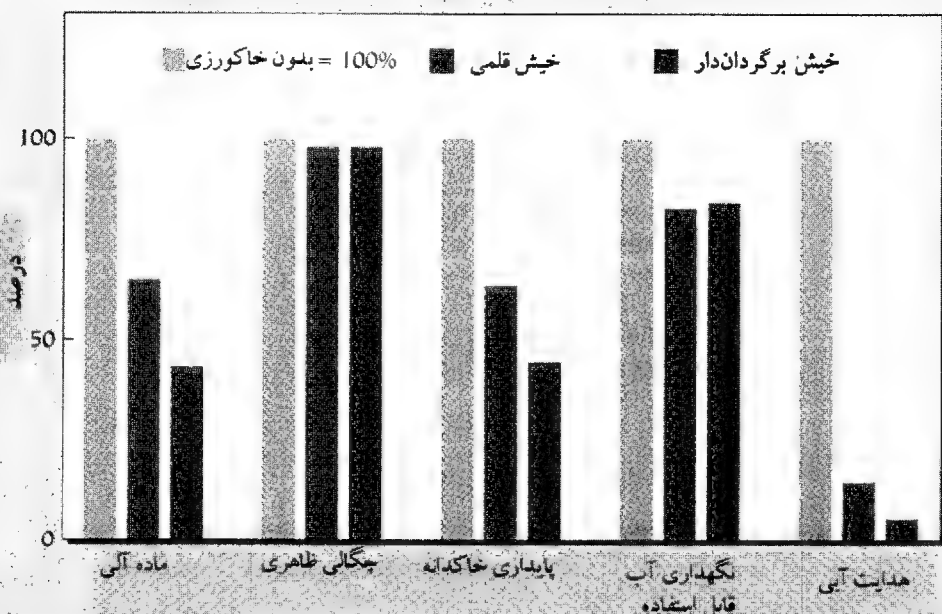
شکل ۱۷-۱۷ درصد استفاده از عملیات شخم حفاظتی در مناطق مختلف آمریکا در سال ۱۹۹۷. توجه کنید در بعضی مناطق بیشتر از $\frac{1}{4}$ اراضی زراعی با استفاده از نظام‌های حفظ خاک مدیریت می‌شوند. بر روی هم، ۴۶٪ اراضی زراعی با خاک‌ورزی حفاظتی مدیریت می‌شوند

مهارکردن فرسایش به‌وسیله‌ی نظام عملیات خاک‌ورزی حفاظتی

از آغاز برنامه‌های نظام خاک‌ورزی حفاظتی صدها آزمایش مزرع‌ای نشان داده‌اند که این نظام‌های خاک‌ورزی امکان فرسایش بسیار کمتری را درمقایسه با شخم سنتی دارند. جریان رواناب سطحی نیز کاهش یافته، اما تفاوت به‌اندازه فرسایش خاک نمی‌باشد (شکل ۱۸-۱۷). این اختلافات در مقدار بسیار کمتر عامل C، که به نظام خاک‌ورزی حفاظتی تعلق یافته تجلی می‌کند (جدول ۷-۱۷ را مشاهده کنید). ارزش مهارکردن فرسایش با استفاده از پوشش سطحی دست‌نخورده در فصل قبل تشریح گردید. نظام خاک‌ورزی حفاظتی به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای سبب کاهش هدررفت عناصر غذایی حل‌شده در رواناب، و یا چسبیده به رسوب می‌شود (جدول ۲-۱۴ و ۲-۱۶ را مشاهده کنید).



شکل ۱۷-۱۸ اثرات نظام‌های خاک‌ورزی بر فرسایش خاک و رواناب از کرت‌های تحت کشت ذرت در تناوب با ذرت، و در تناوب با سویا در ایالت ایلینوی آمریکا. فرسایش خاک بر اثر بارندگی به‌طور شگفت‌آوری در نظام عملیات خاک‌ورزی حفاظتی کاهش یافت. بیشترین کاهش مدت زمان جریان رواناب در نظام حداقل خاک‌ورزی (خاک‌ورزی بشقابی خیش قلمی) در تناوب ذرت - ذرت صورت گرفت. گروه بزرگ خاک کرت‌های طرح آزمایشی Catlin siltloam با ۵٪ شیب و عملیات در جهت شیب (بالا و پایین) در اوایل بهار انجام گرفت.



شکل ۱۷-۱۹ اثرات قابل مقایسه ۳ نظام عملیات خاک‌ورزی طی ۲۸ سال بر ماده‌ی آلی خاک و تعدادی از خصوصیات فیزیکی یک خاک آلی‌سول در ایالت ایداهو آمریکا. ارقام مربوط به نظام بدون عملیات ۱۰۰٪ فرض شده و ارقام دو نظام دیگر درمقایسه آمده‌اند، وزن مخصوص ظاهری در هر سه نوع عملیات حدوداً یکسان بوده است، اما در تمام خصوصیات دیگر، نظام بدون عملیات خاک‌ورزی عملاً از دو نظام دیگر مفیدتر بوده است. مخصوصاً هدایت آبی اشباع در نظام بدون عملیات خاک‌ورزی بالاست. اطلاعات از مجوبی و همکاران ۱۹۹۳

اثر بر روی ویژگی‌های خاک

هنگامی که مدیریت خاک از خاک‌ورزی شخم‌وشیار به خاک‌ورزی حفاظتی (به‌خصوص نظام نبود خاک‌ورزی) مبدل گردد، خصوصیات مختلف عمدتاً به‌طور مطلوب تحت تأثیر قرار خواهند گرفت. تغییرات در چند سانتی‌متر فوقانی خاک بسیار برجسته خواهد بود. معمولاً بیشترین تغییرات در نظام‌هایی که پس‌مانده‌های گیاهی بیشتری را تولید نموده (به‌خصوص ذرت و غلات دانه‌ریز در مناطق مرطوب) و سبب نگهداری اکثر پوشش پس‌مانده‌های گیاهی و کمترین به‌هم‌خوردن خاک شود رخ خواهد داد. از آن‌جاکه بسیاری از این تغییرات در سایر فصول این کتاب تشریح خواهند شد، توضیحات در این‌جا به اختصار می‌آیند.

خصوصیات فیزیکی: تخلخل درشت و خاکدانه‌ای بودن (بخش‌های ۷-۴ و ۸-۴) با تجمع ماده‌ی آلی فعال و استقرار کرم‌های خاکی و سایر موجودات خاک‌زی افزایش می‌یابد. نفوذ آب و زه‌کشی داخلی، و همین‌طور ظرفیت نگهداری آب خاک افزایش خواهد یافت. بعضی از این اثرات در شکل ۱۹-۱۷ تشریح شده‌اند. افزایش ظرفیت نفوذ خاک‌ها تحت مدیریت عملیات کشت‌وکار بدون خاک‌ورزی معمولاً بسیار مطلوب‌ست، اما در بعضی موارد سبب آبشویی سریع‌تر نیترات‌ها و سایر مواد شیمیایی محلول در آب می‌شود. خاک‌ها دارای پوشش پس‌مانده‌های گیاهی معمولاً خنک‌تر و خیس‌تر می‌باشند (بخش ۵-۶ و ۱۲-۷ را مشاهده کنید). این مسأله در فصول گرم سال مطلوب بوده، اما برای رشد اولیه گیاهان در بهارهای خنک در مناطق معتدل زیان‌بار است.

در مناطق خنک و خاک‌ها با محدودیت زهکشی ممکن است با استفاده از عملیات شخم حفاظتی، به‌دلیل آن‌که شرایط خاک مرطوب‌تر و خنک‌تر از خاک‌ورزی سنتی است، عملکرد پایین باشد. عملکرد پایین مقبولیت خاک‌ورزی حفاظتی را در این مناطق کاهش داده است، هرچند عملیات خاک‌ورزی محدود در ردیف کشت (بخش ۱۲-۷ را مشاهده کنید) و یا خاک‌ورزی پشته‌ای از نظام‌های خاک‌ورزی حفاظتی هستند که اجازه می‌دهند حداقل بخشی از خاک سریع‌تر گرم شده و این مسائل را مرتفع کنند.

خصوصیات شیمیایی: نظام‌های بدون عملیات خاک‌ورزی سبب افزایش ماده‌ی آلی چند سانتی‌متر فوقانی خاک (شکل ۱۹-۱۷ و ۲۴-۱۲) می‌شوند. طی ۴ تا ۶ سال اولیه‌ی مدیریت بدون عملیات خاک‌ورزی، تجمع ماده‌ی آلی سبب عدم تحرک عناصر غذایی، به‌خصوص نیتروژن خواهد شد. این مسأله در تضاد با معدنی‌شدن عناصر غذایی است که در صورت کاهش میزان ماده‌ی آلی در نظام خاک‌ورزی معمول بروز خواهد کرد. نهایتاً بعد از آن‌که میزان ماده‌ی آلی در سطح جدید بالاتر تثبیت گردید، میزان معدنی‌شدن عناصر غذایی در نظام بدون عملیات خاک‌ورزی افزایش خواهد یافت. ممکن است میزان رطوبت زیادتر و میزان اکسیژن کمتر سبب تقویت نیترات‌زدایی^۱ گردد (بخش ۹-۱۳). ممکن است در بعضی مواقع این فرایند نیاز به دادن مقادیر بالاتر کود شیمیایی را برای کسب عملکرد بهینه در سال‌های اول مدیریت نظام بدون عملیات خاک‌ورزی سبب گردد.

عناصر غذایی در نظام بدون عملیات خاک‌ورزی تمایل دارند که در چند سانتی‌متر بالایی خاک بر اثر اضافه‌کردن پس‌مانده‌های گیاهی، کود حیوانی، کود شیمیایی و آهک در سطح تمرکز یابند. گرچه تحقیقات نشان داده‌اند به‌دلیل وجود خاک‌پوش سطحی، ریشه‌ی گیاهان (همانند ریشه‌ی درختان در جنگل‌ها در محیط دست‌نخورده) در اخذ عناصر غذایی از لایه‌های سطحی خاک با مشکلی روبرو نمی‌گردند. مطابق‌بودن خاک را در نمونه‌برداری برای آزمایش حاصلخیزی باید در نظر داشت (بخش ۱۸-۱۶ را مشاهده کنید).

در صورت عدم انجام عملیات خاک‌ورزی برای مخلوط کردن خاک، اثرات اسیدی‌شدن مربوط به اکسایش نیتروژن، تجزیه‌ی پس‌مانده‌های گیاهی و نزول بارش در چند سانتی‌متر فوقانی خاک تمرکز یافته، و اسیدیت بسیار سریع‌تر از عمق لایه شخم در نظام خاک‌ورزی مرسوم کاهش خواهد یافت. با این اسیدیت در مناطق مرطوب باید با مصرف مواد آهکی در خاک مقابله کرد.

اثرات زیستی: فراوانی، فعالیت و تنوع ریزجانداران خاک در نظام‌های خاک‌ورزی حفاظتی، که مشخصه‌ی آن‌ها داشتن پس‌مانده‌های گیاهی زیاد در سطح خاک و حداقل به‌هم‌خوردن خاک است، در بیشترین مقدار می‌باشد (بخش ۵-۱۱ را مشاهده کنید). کرم‌های خاکی و قارچ‌ها، که هر دو برای ساختمان خاک مهمند، به‌ویژه در وضعی بهتر قرار می‌گیرند (جدول ۷-۱۱ را مشاهده کنید).

^۱- Denitrification

۷-۱۷ موانع گیاهی^۱

ردیف‌های باریک پوشش دائمی (اغلب گیاهان چمنی و بوته‌ها) که بر روی خطوط تراز کشت شده باشند، می‌توانند برای کاهش سرعت رواناب، به‌دام‌اندازی رسوب و نهایتاً ایجاد سکوی طبیعی و یا زنده مورد استفاده قرار گیرند. در بعضی مواقع، گیاهان گرمسیری (گونه‌های دارای ریشه عمیق و با مقاومت در مقابل خشکسالی، (که ویتورگر/اس^۲ نامیده می‌شوند) به‌عنوان جایگزین مناسبی برای سکوی سازه‌ای نویدبخش می‌باشند.

بوته‌های ویتور با ریشه عمیق و متراکم خود می‌توانند ذرات خاک را از درون آب گل آلود جدا سازند این رسوبات در بخش بالایی موانع گیاهی تراکم یافته و به مرور زمان سبب ایجاد یک سکوی واقعی با ارتفاعی بیش از یک متر نسبت به سطح خاک در پایین دست موانع گیاهی می‌گردند (شکل ۲۰-۱۷). ویتورگراس مخصوصاً برای زنده‌مانی در شرایط خیلی نامساعد بسیار مناسب است، زیرا ریشه‌های آن می‌توانند برای کسب آب به قسمت‌های عمیق خاک نفوذ یابند و برگ‌های آن نیز برای احشام قابل خوردن نمی‌باشند. سایر گیاهان چمنی به‌طور دو منظوره برای تغذیه احشام نیز مورد استفاده می‌باشند، اما این گیاهان آب بیشتری را از منطقه انتشار ریشه‌ی محصولات زراعی مجاور خارج می‌سازند.

تحقیقات برای ارزیابی نظام‌های متعدد موانع گیاهی که در آن گیاهان چمنی و درختان توأم می‌باشند درحال انجام است، این نظام‌ها ممکن است علاوه بر مهار فرسایش منافع زیادی (میوه، هیزم، علوفه و خاک‌پوش غنی از عناصر غذایی) را در بر داشته و کشاورزانی را که باید نیروی کار و منابع محدود مالی خود را صرف ایجاد عملیات حفاظتی کنند، بیشتر مجذوب کند. فناوری‌های حفاظتی (همانند گیاهان پوششی زمستانه که در بخش ۴-۱۶ مورد بحث قرار گرفت) سبب بهبود تولید محصولات در کوتاه‌مدت، و همین‌طور حفظ کیفیت خاک و آب در بلندمدت، خواهد شد. منافع حاصل از کاهش فرسایش و افزایش عملکرد محصولات ناشی از چند نوع عملیات مبارزه با فرسایش در جدول ۱۱-۱۷ خلاصه شده است.

جدول ۱۱-۱۷ دامنه‌ی تأثیر، خاک‌پوش، کشت‌وکار تراز، و پرچین‌های چمنی تراز در فرسایش و عملکرد محصولات

عملیات	کاهش فرسایش (درصد)	افزایش عملکرد (درصد)
خاک‌پوش گیاهی	۷۸-۹۸	۷-۱۸۸
کشت‌وکار تراز	۵۰-۸۶	۶-۶۶
پرچین چمنی تراز	۴۰-۷۰	۳۸-۷۳

۸-۱۷ مهارکردن فرسایش آبکندی و رُمبش^۳

آبکندها در خاک‌هایی که به‌وسیله‌ی جنگل‌ها و یا گیاهان چمنی متراکم حفاظت شده باشند به‌تدرت تشکیل می‌شوند، اما در بیابان‌ها، اراضی مرتعی و درخت‌زارها، که در آن‌ها خاک به‌طور نسیی دارای پوشش است، معمول می‌باشند. در خاک‌هایی که طبقه زیرین به‌وسیله‌ی ضخیم‌وشیار، و یا تسطیح آشکار شده‌اند و در آن‌ها امکان تلفیق شیارهای کوچک چنان فراهم شود که رواناب سبب کندوکاو گردد، آبکندها به‌سهولت تشکیل می‌شوند (شکل ۲۱-۱۷ الف). تمرکز آب در جاده‌ها و مسیرهای بد طراحی شده می‌تواند سبب تشکیل آبکند، حتی در جنگل‌های متراکم شود. در بسیاری از موارد، آبکندهای مورد مسامحه طی سال‌ها به رشد خود ادامه داده و نهایتاً سبب تخریب چشم‌انداز می‌شوند (شکل ۲۱-۱۷ ب). از طرف دیگر در بعضی از خاک‌های دارای قطعات سنگی، ممکن است ذرات درشت باقی‌مانده در کف آبراهه از کندوکاو بیشتر رواناب ممانعت کنند.

درمان مفید آبکندها

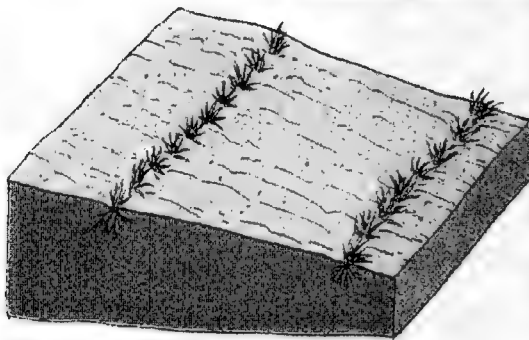
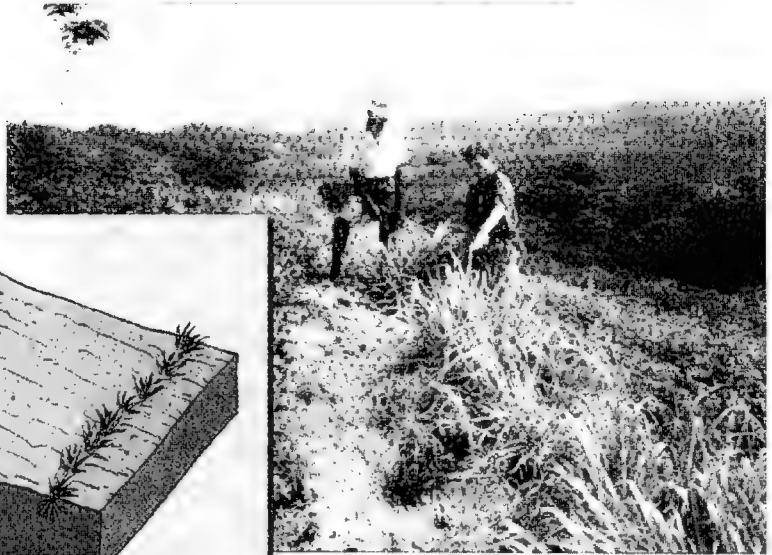
اگر آبکندها کوچک باشند، می‌توانند، مجدداً از خاک پر شده و برای حرکت آرام آب به شکل مطلوب در آمده، به زیر کشت گیاهان چمنی رفته و از آن پس به‌عنوان آبراهه‌های چمنی بدون هرگونه به‌هم‌زدن و دست‌کاری باقی بمانند. هنگامی فرسایش آبکندی بسیار فعال‌تر از آن است که بدین‌شیوه مهار گردد درمان و معالجه‌ی بیشتری مورد نیاز می‌باشد. اگر آبکند کوچک باشد، ممکن است مجموعه‌ای

^۱ -Vegetation barriers

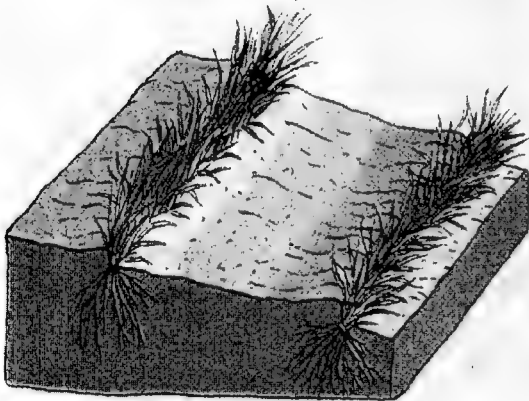
^۲ -Vetiver grass

^۳ -Mass wasting

از سدهای تنظیمی با بلندی ۰/۵ متر در فواصل ۴ تا ۹ متر بستگی به شیب آبراهه ایجاد شوند. این سدهای کوچک ممکن است از مصالحی که در محل یافت می‌شوند، مانند سنگ‌های درشت، بسته‌های علوفه کهنه، سرشاخه و یا تنه درختان ساخته شوند. ممکن است طورهای سیمی برای استحکام این سازه‌ها مورد استفاده قرار گیرند. سدهای تنظیمی، بزرگ و یا کوچک باید با توجه به چهره‌ی کلی که در شکل ۱۷-۲۲ آمده است ایجاد گردند. ممکن است بعد از مدتی رسوب کافی در پشت سدها برای ایجاد مجموعه‌ای از تراس‌های سکویی تجمع یافته، و ممکن است آبراهه از خاک پر شده، به زیر کشت گیاهان چمنی دائمی برده شوند.



(الف)



(ب)

شکل ۱۷-۲۰ استفاده از موانع گیاهی برای ایجاد سکوه‌های طبیعی (عکس). یک گیاه چمنی گرمسیری (ویتر) که در روی تراز در مزرعه کاساوا با قراردادن جوانه‌های ریشه در خاک ایجاد می‌شود. (الف) قلمه‌های ریشه عمود بر جهت شیب کشت می‌شوند. در طول یک سال و یا بیشتر، گیاه چمنی به خوبی استقرار یافته و ریشه و شاخ و برگ متراکم آن به عنوان مانعی برای نگهداری ذرات خاک، و در عین حال برای عبور بخشی از رواناب عمل می‌کنند. (ب) به تجمع خاک در بخش فوقانی گیاه چمنی توجه کنید که ایجاد یک دیواره‌ی سکو کرده است. در دشت‌های شمالی آمریکا گیاهان چندساله بلند (علف^۱ گندم) به طور آزمایشی به صورت مانعی در مقابل حرکت برف، سپس در مقابل فرسایش بادی، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

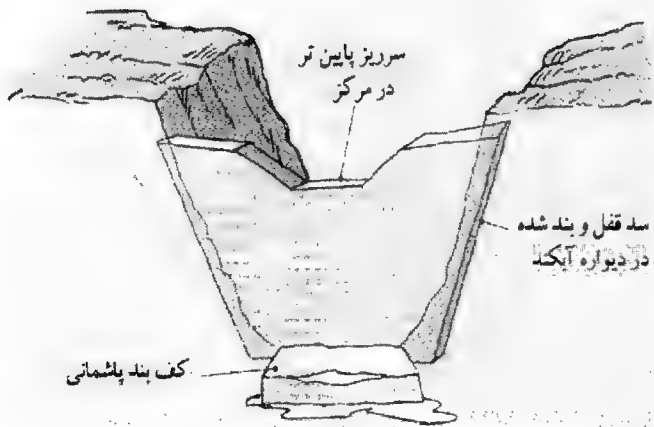
ممکن است در آبکنده‌های خیلی بزرگ لازم باشد که رواناب را از رأس آبکند منحرف نموده و به ایجاد سدهای دائمی تر با استفاده از مصالح خاکی، بتنی و یا سنگ در داخل آبراهه اقدام کرد. در این جا نیز رسوبات ترمسید شده در پشت سد به تدریج آبکند را پر می‌کند سدهای تنظیمی نیمه‌دائمی، آب‌گذرها^۲ و آبراهه‌های پوشیده از قطعات سنگی نیز در مناطق ساختمان‌سازی مورد استفاده قرار گیرند، اما استفاده گسترده از آنها در اراضی کشاورزی معمولاً بسیار پرهزینه است.

^۱ - Wheat grass

^۲ - Flum



شکل ۲۱-۱۷ گسترش فرسایش آبکندی. (بالا) فرسایش آبکندی در یک خاک بسیار فرسایش پذیر در غرب ایالت تنسی. ریشه های بوته های کوچک گندم برای جلوگیری از کنده شدن خاک ناشی از جریان متراکم توانایی ندارند. (پایین) حاصل سامانه ی فرسایش تسریعی انسانی خاک ورزی خاک های شیب دار در عصر تمدن رم سبب بروز فرسایش تسریعی گردید که نهایتاً سبب ایجاد آبکندهای هزاردره ای از آبراهه های کوچک شد که در داخل این چشم انداز اراضی ایتالیایی به بردن و کندن خود بعد از هربارش شدید ادامه می دهد. برای درک مقیاس به درختان زیتون و منازل در شیب آرام زیر پوشش چمنی در بالای تپه نسبتاً فرسایش نیافته، توجه کنید.



شکل ۲۲-۱۷ نمای کلی از یک سد تنظیمی که برای توقف آبکند به کار می رود. سد تنظیمی چه از سنگ ساخته شود و یا از سرشاخه، بتن و سایر مصالح باید دارای چهره کلی در این شکل باشد. سازه باید در داخل دیواره های آبکند، همان طور که نشان داده شده است برای جلوگیری از حرکت آب در اطراف آن قفل بند شده باشد ارتفاع وسط دیواره تاج سد باید پایین تر باشد تا رواناب از آن جا عبور کرده و سبب شستشوی دیواره های خاکی آبکند نشود. برای جلوگیری از پی کتی زیر سد بر اثر سرریز آب باید یک کف بند در زیر سد در مرکز آن با استفاده از سرشاخه های متراکم، بتن و قطعات درشت سنگ و یا

دیگر مصالح ایجاد شود. برعکس اثرات شفاف بخش سدهای تنظیمی خوب طراحی شده، در صورت پرکردن و ریختن مصالح مانند سرشاخه ها، سنگ ها و اتومبیل های اسفاتی به طور تصادفی در داخل آبکند وضعیت فرسایش بدتر از قبل می شود.

رُنبش در شیب‌های ناپایدار

حرکت روبه‌پایین توده‌های بزرگ خاک ناپایدار (جابه‌جایی توده) از فرسایش سطحی خاک، که عنوان این فصل است بسیار متمایز می‌باشد. حرکت توده‌ای ممکن است در شیب‌های خیلی تند (معمولاً بیشتر از ۶۰ درصد) مسأله‌ی مهمی باشد. گرچه ممکن است این نوع هدررفت خاک در بعضی از مواقع در مراتع پرشیب صورت گیرد، اما در اراضی با کاربری غیرکشاورزی بسیار معمول می‌باشند. جابه‌جایی توده ممکن است در اشکال مختلف باشد. خزش خاک^۱ عبارت از تغییر شکل آرام نیمرخ خاک (بدون جدا شدن ناشی از برش) در اثر حرکت غیرقابل رویت طبقات فوقانی به طرف پایین شیب می‌باشد. لغزش زمین^۲ در اثر جدا شدن سریع توده‌ی خاک معمولاً خیلی مرطوب و حرکت آن به طرف پایین شیب انجام می‌پذیرد. جریان گلی^۳ شامل، سیلان نسبی و جریان خاک اشباع شده در اثر ازدست رفتن نیروی هم‌چسبی بین ذرات^۴ می‌باشد (بخش ۸-۴ و شکل ۳۸-۴ را مشاهده کنید).

ماشه‌ی رُنبش کاهش جرم در بعضی موارد به وسیله‌ی فعالیت‌های انسان‌ها بر اثر آیین‌بردن نیروهای طبیعی پایداری و یا اشباع نمودن خاک به وسیله‌ی جریانات متراکم آب آبیاری کشیده می‌شود. پوسیده شدن ریشه‌ی درختان نگهدارنده خاک چندسال پس از کف تراشی جنگل و یا ایجاد جاده‌ای در پنجه یک شیب تند همگی می‌توانند نمونه‌های معمول از فعالیت انسانی باشند.

۹-۱۷ مهار کردن فرسایش تسریعی در مراتع و اراضی جنگلی

مسایل مراتع

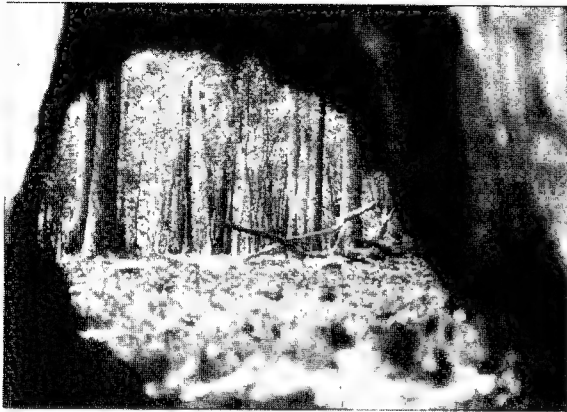
در بسیاری از مراتع در مناطق نیمه‌خشک مقادیر زیادی خاک در شرایط طبیعی ازدست می‌رود (شکل ۳-۱۷). فرسایش تسریعی در این مراتع، در صورت عدم مدیریت دقیق فعالیت‌های انسانی، می‌تواند منجر به هدررفت بیشتر خاک گردد. چرای بیش از حد، که منجر به تخریب پوشش گیاهی در مراتع طبیعی می‌شود، یک نمونه بارز می‌باشد. پوشش گندمیان چمنی معمولاً بهتر از بوته‌های پراکنده که معمولاً به دنبال مدیریت ضعیف چرای احشام جایگزین آن می‌گردد، از خاک بهتر محافظت می‌کند. به علاوه ممکن است تجمع گله‌های احشام در اطراف منابع آب و سنگ نمک با توزیع نامناسب سبب تخریب کامل خاک گردد. ممکن است مسیرهای گاورو و یا شیار حاصل از چرخ ماشین و یا تراکتور در خارج از جاده اصلی، سبب تمرکز رواناب و توسعه آبکندها شود که در چشم‌اندازها پیشروی خواهند کرد. به دلیل استیلای شرایط خشک، فرسایش بادی (که در بخش ۱۱-۱۷ صحبت خواهد شد) نقش مهمی را در تخریب خاک‌های مراتع ایجاد خواهد کرد.

فرسایش در اراضی جنگلی

برخلاف بیابان‌ها و اراضی مرتعی، اراضی تحت جنگل دست‌نخورده‌ی سالم خاک اندکی را از دست می‌دهند. هرچند ممکن است فرسایش تسریعی در اراضی جنگلی مسأله شدیدی باشد. زیرا ممکن است نرخ فرسایش کاملاً بالا بوده و یا اراضی گسترده‌ای با فرسایش مواجه باشند. علت اصلی فرسایش تسریعی در حوزه‌های جنگلی معمولاً به دلیل ساخت جاده‌های برداشت چوب، عملیات برداشت السوار و لگدکوب شدن جاده‌ها و یا فضای خارج از مسیرها به وسیله‌ی استفاده کنندگان از تفرج‌گاه‌ها (در بعضی موارد احشام) باشد.

برای درک این مطلب و اصلاح آن‌ها باید رمز و راز نرخ فرسایش طبیعی اندک را که در اراضی جنگلی در کف دست‌نخورده آن است کشف نمود، همان افق که خاک را از برخورد قطرات باران محفوظ داشته، و دارای چنان ظرفیت نفوذ بالایی می‌باشد که رواناب وجود نداشته و یا بسیار اندک است. برخلاف تصور عمومی، این کف جنگل و لاشبرگ است که در مقایسه با تاج پوشش و یا ریشه‌ها از خاک در مقابل فرسایش محافظت می‌کند (۲۳-۱۷ الف). در واقع قطرات باران که از برگ درختان بلند سقوط می‌کنند، قطرات بزرگی بوده و طی سقوط به سرعت حد رسیده و سطح خاک را با انرژی حتی بیشتری از قطرات باران در بارندگی‌های نسبتاً شدید، مورد برخورد قرار می‌دهند. اگر کف جنگل از حالت اولیه خارج و خاک معدنی آشکار گردد، فرسایش پاشمانی شدیدی حاصل خواهد شد (۲۳-۱۷ ب). ممکن است در صورت تمرکز رواناب، فرسایش خندقی نیز در زیر تاج پوشش درخت مانند جاده‌های بد طراحی شده صورت گیرد.

^۱-Soil creep^۲-Landslide^۳-Mud flows^۴-Cohesion



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۱۷-۲۳ پوشش لاشبرگ در کف جنگل، درمقایسه با ریشه‌ی درختان و یا تاج‌پوشش، بیشترین حفاظت را درمقابل فرسایش از یک بوم‌سامان درختی به‌عمل می‌آورد. (الف) کف یک جنگل معتدل دست‌نخورده‌ی خزان‌کننده (از داخل تنه پوسیده مشاهده می‌شود). تاج‌پوشش بدون برگ درطول ماه‌های زمستان برگ‌آب اندکی دارد. ممکن است در طول تابستان، سقوط قطرات باران از شاخ و برگ درختان بلند کف جنگل را با همان انرژی ناشی از باران بدون برخورد با موانع مورد ضربه قراردهد. (ب) فرسایش شدید در زیر تاج‌پوشش یک درخت‌زار که کف‌پوش جنگلی حفاظت‌کننده‌ی آن در اثر رفت‌وآمد زیر پا نابود شده، ایجاد گردیده است. ریشه آشکارشده‌ی درختان نشان می‌دهد که ۲۵ سانتی‌متر خاک‌رخ ازین رفته است. (ج) تاک‌های گل‌سین^۱ در زیر تاج‌پوشش متراکم درختان کانوجو در آسیای جنوبی برای جلوگیری از فرسایش در اراضی شیب‌دار کاسته شده‌اند. شیرابه‌ی سفید کانوجو، که از پوست بریده‌شده درخت تراوش کرده و قطره‌قطره در کاسه‌های کوچک جمع‌آوری می‌شود. لگدکوبی کف جنگل به‌وسیله‌ی کارگران و تجزیه شدید لاشبرگ، ضرورت ایجاد پوشش زنده را در سطح زمین ایجاد می‌کنند.

عملیات کاهش هدررفت خاک در اثر تولید الوار

عمده‌ترین منبع خاک فرسایش یافته در تولید الوار عبارتند از جاده‌های^۲ برداشت الوار (که برای دسترسی کامیون‌ها به منطقه برداشت ساخته می‌شوند)، مسیرهای^۳ خزیدن (مسیرهایی که در طول آن‌ها تنه‌های برداشت‌شده کشیده می‌شوند)، مناطق جمع‌آوری^۴ (منطقه‌ای که تنه‌های جمع‌آوری‌شده به قطعات در اندازه‌های مختلف بریده و بارگیری می‌شوند). افتادن درختان مستقیماً فرسایش اندکی به‌بار می‌آورد (مگر آن‌که ریشه‌های بزرگی از درختان برای نگهداری خاک درمقابل رُمبش موردنیاز باشند، همان‌طور که در بخش ۸-۱۷ بیان گردید).

^۱ -Glycine vine

^۲ -Logging roads

^۳ -Skid trails

^۴ -yarding areas

راهبردهای مهار فرسایش باید موارد زیر را در بر داشته باشد: ۱- شدت برداشت چوب ۲- روش‌های به‌کاررفته برای برداشت الوار ۳- جدول زمان‌بندی برداشت الوار و ۴- طراحی و مدیریت جاده‌ها و مسیرها. به‌هم‌زدن خاک برای نوزایش^۱ درخت (مانند عملیات خاک‌ورزی برای حذف رقابت علف‌های هرز و یا ایجاد تماس بهتر بذر با خاک) باید به جاهایی اختصاص یابد که حساسیت آن‌ها به فرسایش پایین باشد. شدت برداشت الوار: در پرشیب‌ترین مناطق، و در محل‌هایی با فرسایش‌پذیرترین خاک ممکن است نظارت محیطی حاکی از عدم برداشت الوار و اعمال مدیریت حفاظتی باشد. در مناطق با حساسیت کمتر، قطع انتخابی^۲ (برداشت گاه‌به‌گاه فقط درختان مسن) بدون عواقب مخرب می‌تواند موردعمل قرارگیرد. نظام درختان جان‌پناه^۳ (که در آن تعداد نسبتاً زیادی از درختان بعد از برداشت تمام درختان دیگر سرپا باقی می‌مانند) شاید متمرکزترین روش برداشت بعدی باشد که بتوان در مناطقی با حساسیت متوسط به فرسایش مورداستفاده قرار داد. قطع یکسره^۴ (برداشت تمام درختان در قطعات بزرگ جنگل) را باید فقط در شیب‌های آرام با خاک‌های مقاوم مورد استفاده قراردارد.

روش‌های برداشت درختان: روشی که دارای کمترین هزینه بوده و به‌طور بسیار معمول برای جابه‌جایی الوار به‌وسیله تراثورهای چرخ‌دار لاستیکی انجام می‌شود روش کششی^۵ نام دارد (شکل ۱۸-۴ را مشاهده کنید). این روش سبب به‌هم‌خوردن کف جنگل و آشکارشدن خاک معدنی در ۳۰ تا ۵۰ درصد منطقه برداشت می‌شود. در مقابل روش‌های پرهزینه که از طناب‌های پولادین برای بلندکردن یک سر چوب از زمین به‌کار می‌رود، حدود ۱۵ تا ۲۵ درصد خاک معدنی را آشکار می‌سازد. برای مناطق بسیار حساس، الوار به‌وسیله بالن ویا چرخ‌بال به مناطق جمع‌آوری حمل می‌شود. این عملیات بسیار پرهزینه بوده و فقط ۴ تا ۸ درصد خاک معدنی را آشکار می‌سازند جدول زمان‌بندی برداشت: با محدودکردن ورود ماشین‌آلات به جنگل در مواقعی که خاک یا خشک است ویا یس‌خیزده و پوشیده از برف (در مناطق معتدل) می‌توان از فرسایش خیلی زیاد ممانعت کرد. خسارت وارده به کف جنگل (شامل تراکم و ظاهرشدن خاک معدنی) درصورت مرطوب‌بودن بیش از حد خاک بسیار به آسانی صورت خواهد گرفت. به‌علاوه شیارهای حاصل از چرخ ماشین‌آلات و تمرکز رواناب در آن‌ها برای آغاز فرسایش آب‌کندی در خاک‌های مرطوب به سهولت ایجاد خواهند شد.

طراحی و مدیریت جاده‌ها: ممکن است جاده‌های نامناسب برداشت الوار سبب هدررفت ۱۰۰ تن خاک در هکتار از سطح جاده، دیواره‌های نهر زه‌کشی و یا خاک آشکارشده در دامنه‌های بریده‌شده شیب اطراف جاده گردد. جاده‌ها همچنین مقادیر زیادی از حجم رواناب را جمع‌آوری کرده که می‌تواند سبب فرسایش شدید آب‌کندی گردد. جاده‌ها باید چنان مسیریابی شوند که از چنین مسایلی اجتناب گردد. سنگ‌فرش کردن جاده‌ها و پوشش آنها با سنگ و کشت پوشش دائمی در بریدگی آشکارشده‌ی کنار جاده‌ها می‌تواند سبب کاهش هدررفت خاک تا ۹۹٪ شود. یک روش بسیار کم‌هزینه‌ی دیگر ایجاد آبراهه‌هایی در عرض جاده (نهرهای کوچک و یا آبگذر که در شکل ۲۴-۱۷ نشان داده شده‌اند) در هر ۲۵ تا ۱۰۰ متر برای جلوگیری از تمرکز بیش از حد آب و پخش آن در روی اراضی محافظت شده با پوشش تراکم می‌باشد. بعداز اتمام برداشت الوار، باید پوشش گیاهی در جاده‌های موجود استقرار یافته و رفت‌وآمد در آن‌ها ممنوع گردد.

طراحی مسیرهای کشیدن الوار: مسیرهای کشیدن الوار که سبب هدایت آب رواناب به‌طرف پایین شیب و به‌سوی منطقه‌ی جمع‌آوری الوار می‌گردد، سبب فراخواندن فرسایش آب‌کندی می‌شود. کشیدن مکرر الوار در مسیرهای درجه ۲- نیز می‌تواند سبب آشکارشدن هرچه بیشتر خاک معدنی و مواجهه‌ی آن‌ها با نیروهای فرسایشی گردد. از این دو کار باید اجتناب کرد. محل جمع‌آوری الوار باید در مناطقی با بلندترین ارتفاع، کمترین شیب و زه‌کشی خوب قرار داشته باشند.

نوارهای محافظ در امتداد کناره رودخانه‌ها: وقتی جنگل‌ها برداشت می‌شوند، نوارهای محافظ با عرضی معادل ۱/۵ برابر ارتفاع بلندترین درختان باید بدون هیچ‌گونه به‌هم‌خوردن در تمام طول رودخانه ایجاد شوند همان‌طورکه در بخش ۲-۱۶ بحث گردید، نوارهای محافظ مرکب از پوشش متراکم دارای ظرفیت بالایی جهت جداسازی رسوبات و عناصر غذایی از رواناب می‌باشند. نوارهای محافظ جنگلی رودخانه را از رسوبات و بقایای جنگل‌تراشی محافظت می‌کنند. به‌علاوه درختان در حاشیه‌ی رودخانه سبب سایه‌دارشدن آب گشته و آن‌را از گرم‌شدن نامطلوب، که در نتیجه مواجهه با نور مستقیم آفتاب حاصل می‌شود محافظت می‌کنند.

¹-Regeneration

²-Selective cutting

³-Shelterwood system

⁴-Clear cutting

⁵-Skidders



شکل ۲۴-۱۷ آبگذری روباز در یک جاده‌ی برداشت الوار خوب طراحی شده در ایالت مونتانا. این سازه‌ی ساده، همراه با مسیریابی مناسب جاده، می‌توانند فرسایش آب‌کندی ناشی از جریان و رواناب مهارشده را در طول جاده‌ها و مسیرهای برداشت چوب در مناطق جنگلی به‌مقدار زیادی کاهش دهد. آبگذرهای روباز و آبراهه‌های جای‌گذاری شده در فواصل متوالی سبب مهار رواناب، در هر زمان جریان اندک، و هدایت آن به خارج از جاده بر روی مناطق دارای پوشش متراکم می‌گردند.

۱۷-۱۰ مهار فرسایش و رسوب در ساختمان‌سازی‌ها

اگرچه ساختمان‌سازی‌های فعال بخش نسبتاً کوچکی را از یک حوزه آبخیز شامل می‌گردند، آن‌ها می‌توانند منبع عمده‌ای برای رسوبات فرسایش‌یافته باشند، زیرا توان فرسایش در اراضی کاملاً به‌هم‌خورده ساختمانی معمولاً ۱۰۰ برابر اراضی کشاورزی است. بار رسوبات سنگین از خصوصیات رودخانه‌های است که حوزه‌های آبخیزی را زه‌کشی می‌کنند که در آن‌ها کاربری جنگلی و زراعی در حال تبدیل شدن به ساختمان می‌باشند. از نظر تاریخی، وقتی شهرسازی در یک حوزه آبخیز به اتمام می‌رسد (تمام اراضی یا آسفالت‌شده و یا به‌وسیله‌ی چمن خوب پوشش یافته باشند) میزان رسوب به‌اندازه قبل از توسعه ساختمان و یا کمتر از آن، کاهش می‌یابد.

برای جلوگیری از آلودگی جدی رسوب از محل‌های ساختمان‌سازی، حکومت‌های محلی در آمریکا، (از طریق قوانین ایالتی و طرح آب پاک فدرال سال ۱۹۹۲) و در بسیاری از کشورهای صنعتی دیگر از مقاطعه‌کاران می‌خواهند که طرح‌های تفصیلی در مورد مهار فرسایش و رسوب قبل از شروع طرح‌های ساختمانی که بیشتر از یک هکتار زمین را شامل می‌شوند، ارائه دهند. اهداف مهار فرسایش در محل‌های ایجاد ساختمان عبارتند از: ۱) جلوگیری از خسارات فرسایش در محل وقوع آن، مانند زیرکشی پی‌ها و یا شیب‌بندی‌های خاتمه یافته و هدررفت خاک سطحی که نهایتاً برای طراحی چشم‌انداز لازم می‌باشد ۲) نگهداری رسوبات در محل اصلی به‌طوری‌که از خسارت زیست‌محیطی که از ترسیب رسوب در اراضی همسایگان جاده‌ها، نهرها، مخازن و رودخانه‌ها حاصل می‌شود، ممانعت گردد.

اصول مهارکردن فرسایش در ساختمان‌سازی‌ها

پنج مرحله‌ی اساسی در ارائه‌ی طرح‌ها برای تحقق اهداف فوق‌الذکر مفید می‌باشند که عبارتند از:

- ۱- در صورت امکان، فعالیت‌های اصلی حفاری را برای دوره‌های کم‌باران سال زمان‌بندی کنید.
 - ۲- طرح را تا آن‌جا که مقدور است در مراحل زیادی تنظیم کنید به‌طوری‌که فقط چند منطقه کوچک در هر نوبت از پوشش عاری گشته و تسطیح گردند.
 - ۳- تا آن‌جا که مقدور است خاک‌های مورد تعرض را با استفاده از پوشش گیاهی و یا سایر مصالح پوشش‌دار کنید.
 - ۴- جریان رواناب را برای هدایت مطمئن آن به خارج از منطقه ساختمان‌سازی بدون ایجاد آب‌کنند تنظیم کنید.
 - ۵- رسوب رواناب را قبل از رهاسازی رواناب به خارج از محل اصلی وقوع جمع‌آوری کنید.
- سه مرحله آخر نیازمند شرح و تفصیل بیشتری بوده، و می‌توانند به‌عنوان عملیات مخصوص در تلفیق با طرح‌های کلی مهار فرسایش برای منطقه‌ی مورد نظر به‌کار گرفته شوند.

پوشش‌دار کردن خاک مورد تهاجم

خاک‌هایی که به وسیله عملیات حفاری و یا تسطیح مورد تهاجم قرار می‌گیرند، دارای فرسایش‌پذیری (مقادیر K) بالایی می‌باشند. این مطلب به خصوص در مورد خاک‌های تحت‌الارضی دارای ماده‌ی آلی اندک صادق می‌باشد. توان فرسایش ممکن است فوق‌العاده بالا (۲۰۰ تا ۴۰۰ تن در هکتار غیر معمول نیست) باشد، مگر آن‌که مقدار C با ارائه‌ی پوشش خوب به مقدار زیادی کاهش یابد. این کار با به هم زدن و باقی گذاشتن پوشش طبیعی در مدت زمان هر چه طولانی‌تر، به جای از بین بردن پوشش طبیعی و تسطیح تمام سطح منطقه مورد نظر در ابتدای ساختمان‌سازی، قابل وصول است. هر زمان که بخشی از منطقه تسطیح می‌شود، بایستی بخش‌های شیب‌دار دیگر، که مستقیماً در عملیات ساختمان‌سازی قرار ندارند، به زیرکشت گونه‌های چمنی دارای رشد سریع و سازگار با خاک و شرایط اقلیمی منطقه برده شوند. اراضی بذرکاری شده باید با خاک‌پوش و یا کف‌پوش‌های مهارکننده‌ی فرسایش^۱ پوشیده شوند. این پرده‌ها از مواد قابل تجزیه و یا غیرقابل تجزیه درست شده و سبب پوشش سریع خاک و حفظ بذرها از آیشویی می‌گردند (شکل ۲۵-۱۷ب و جدول ۱۲-۱۷). فناوری معمول و قابل استفاده برای نگهداری شیب‌های تند و اراضی دارای مشکل دسترسی، مانند بریدگی کنار جاده‌ها، بذرکاری دوغابی^۲ است (شکل ۲۵-۱۷الف) که در آن مخلوطی از بذر، کود، آهک (در صورت نیاز)، مواد خاک‌پوش، و پلی‌مرهای چسبیده بر روی این سطوح پاشیده می‌شود. مدیریت ساختمان‌سازی خوب در یک منطقه شامل برداشت و تل‌انبار نمودن طبقه‌ی A قبل از تسطیح منطقه می‌باشد. این خاک از نظر حاصلخیزی غنی بوده و از نظر تولید رسوب و آلودگی عناصر غذایی دارای توان بالایی می‌باشد. برای جلوگیری از فرسایش، بایستی این توده‌های خاکی قبل از مصرف و پخش دوباره آن‌ها به عنوان خاک سطحی به وسیله‌ی گیاهان چمنی دارای پوشش گردند.



شکل ۲۵-۱۷ دو روش برای استقرار پوشش گیاهی در شیب‌های تند ناپایدار (بالا) فناوری بذرکاری دوغابی امکان استقرار پوشش گیاهی را به طوری مؤثر در مناطق دارای مشکل دسترسی فراهم می‌کند. دستگاه مخلوطی از آب، کاه، بذر گیاهان علفی، کود و پلی‌مرهای چسبنک را برای نگهداری خاک‌پوش در سطح تا استقرار بذرها و ریشه‌دوانی آن‌ها بر روی سطح مورد نظر می‌پاشد. (زیر) پرده‌های مهارکننده‌ی فرسایش که از تورهای پلاستیکی و یا مواد طبیعی مانند کف ساخته می‌شوند بر روی سطح تازه‌ی بذرکاری شده کشیده می‌شود تا خاک و بذر را تا استقرار پوشش گیاهی در محل خود نگهداری کنند.



¹-Erosion blanket

²-Hydroseeding

جدول ۱۲-۱۷ میزان تأثیر مواد مختلف مه‌ارکننده فرسایش در کاهش رواناب و هدررفت خاک و استقرار پوشش گیاهی در مناطق به‌هم‌خورده. تمام کرت‌ها (به‌استثنای قطعات چمنی) با بذر گیاهان چمنی بذرکاری شده و به‌وسیله‌ی موادی که در جدول آمده‌اند، پوشیده شدند، توجه کنید که تمام تیمارها فرسایش را به‌مقدار زیاد و رواناب را به‌مقدار کمتری کاهش دادند. قطعات چمنی مؤثرترین پوشش بوده و به‌دنبال آن خاک‌پوش کاه‌وکلش مؤثر می‌باشد. هیچ‌کدام از مواد تأثیر منفی در استقرار گیاهان چمنی نداشتند، در صورتی که اثر خاک‌پوش کاه‌وکلش ممکن است دارای اثر مثبت بوده باشد. در سایر موارد کاربرد این مواد (مانند پوشش‌دار کردن نه‌رها) که با سرعت بالای رواناب مواجه می‌باشیم پرده‌های مصنوعی جلوگیری از فرسایش از خاک‌پوش کلش مؤثرتر می‌باشند.

مواد	هدررفت خاک kg/ha (الف)	هدررفت رواناب (درصد)	مدت زمان تا آغاز رواناب (ثانیه)	درصد استقرار پوشش گیاهی (ب)
خاک بدون پوشش	۶۶۵۰	۸۳	۳۴	۵۰
کنف (تور بافته‌شده)	۴۱۰	۶۸	۶۲	۶۱
تراشه‌های چوب بافته‌نشده در توری پلی‌استر	۸۱۰	۷۴	۷۴	۶۹
کف‌پوش الیاف نارگیل	۱۰۷۰	۷۶	۸۶	۵۸
کاه (۴/۵ تن در هکتار)	۵۹۰	۶۰	۱۰۲	۷۶
قطعات چمنی	۱۰۰	۲۸	۳۴۱	۱۰۰

الف) هدررفت حاصل از باران شبیه‌سازی شده با شدت ۹۶ میلی‌متر در ساعت. عدد میانگین دو نوع خاک است. سری لوم شنی ساس‌فراس^۱ با ۸ درصد شیب و خاک لومی رمی شنی سری متاپیک^۲ با ۱۵ درصد شیب

ب) درصد پوشش استقرار یافته یک‌سال بعد از بذرکاری علف‌کنناکی و پوشش آن با مواد مختلف در یک مطالعه جداگانه

مه‌ار کردن رواناب

خاک‌های تحت‌الارض تازه آشکار شده و به‌هم‌خورده در مقابل عمل‌کنش به‌وسیله‌ی آب جاری بسیار حساس بوده و ممکن است آب‌کننده‌های تشکیل شده سبب تخریب قسمت تسطیح‌شده، زیرکنی جاده‌ها و ساختمان‌ها، و تولید با رسوب بسیار زیاد گردند. جریان رواناب باید به‌وسیله‌ی طرح‌های تسطیح، تراس‌بندی و ایجاد آبراهه مه‌ار گردد. اکثر مناطق ساختمان‌سازی نیازمند یک آبراهه پیرامونی می‌باشند که رواناب را قبل از ترک منطقه، جمع‌آوری نموده و آن‌را به یک مخزن نگهداری هدایت کند.

دیواره‌ها و کف این آبراهه‌ها باید به‌وسیله‌ی مواد مقاوم برای مقابله با عمل‌کنش آب جاری پوشیده شوند. وقتی که سرعت‌های بالا مورد انتظار است خاک باید به‌وسیله‌ی زره سخت^۳ مانند ریپر^۴ (قطعات سنگی بزرگ زاویه‌دار همانند شکل ۲۶-۱۷)، تورسنگ (محفظه‌های از تورهای سیمی مستطیلی که با قطعات سنگی قابل‌حمل به‌وسیله‌ی انسان پر شده‌اند) و یا قطعات بتنی چیده شده محافظت گردد. خاک ابتدا به‌وسیله‌ی صافی‌های حاصل از منسوجات زمینی^۵ (مواد سفت بافته‌شده) برای جلوگیری از مخلوط‌شدن آن با سنگ پوشش داده می‌شود.

در آبراهه‌های کوچک و شیب‌های بسیار آرام که با سرعت‌های آرام آب مواجه می‌باشیم، زره نرم، مانند قطعات چمن، و یا کف‌پوش‌های مه‌ار فرسایش می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. زره نرم معمولاً ارزان‌تر بوده و از نظر زیباشناسی خوشایندتر از زره سخت است. راه‌هایی جدید مه‌ار فرسایش شامل پوشش مسلح^۶ (درختان و گیاهان چمنی کشت شده در فضای بین قطعات بلوکی و یا در کف‌پوش‌های سفت مه‌ار فرسایش) می‌باشد.

^۱-Sassfras loamy sand

^۲-Matapeake Sandy clay loam

^۳-hard armor

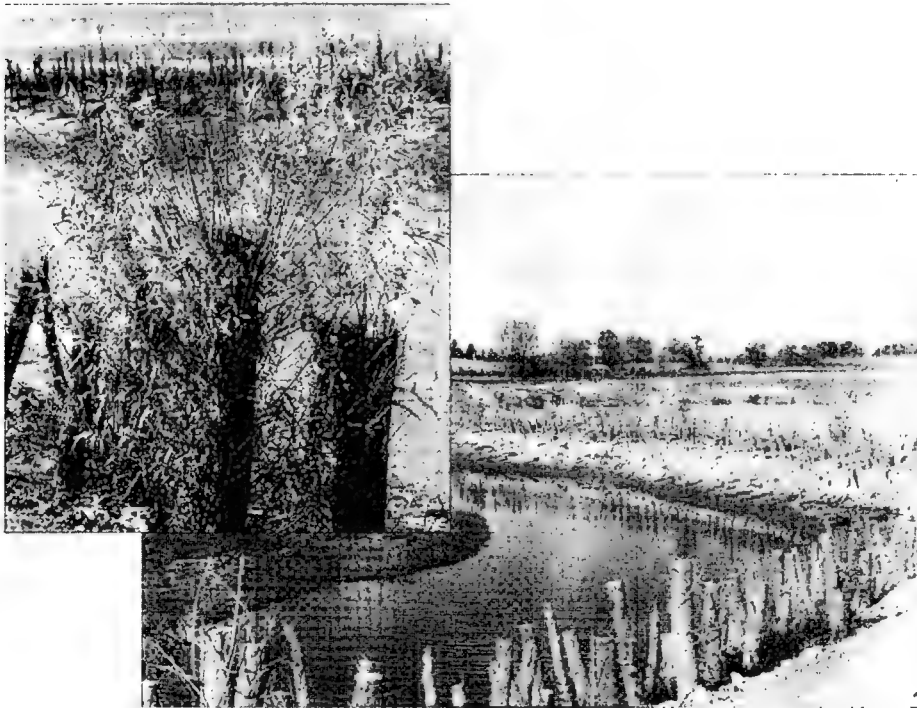
^۴-Rip rap

^۵-Geotextile

^۶- Reinforced vegetation



شکل ۲۶- ۱۷ جریان رواناب در مناطق وسیع با خاک فاقد پوشش برای اجتناب از آلودگی خارج از محل اصلی باید به دقت تنظیم گردند. در این جا، یک آبراهه‌ی دقیق طراحی شده با چمن متراکم در کف آن و دیواره‌های پوشش‌دار با قطعات درشت سنگ (ریپ‌رپ) سبب ممانعت از فرسایش آبکندی، کاهش هدررفت خاک، و هدایت رواناب در پیرامون منطقه ساختمان‌سازی می‌شود.



شکل ۲۷- ۱۷ نمونه‌ای از مهندسی زیستی در طول بستر یک رود که در طول ساخت یک فرودگاه تجارتی در ایالت ایلینوی صدمه دیده است. شاخه‌های زنده‌ی بید در کناره فرسایش‌پذیر و مست رودخانه کوبیده می‌شوند تا سبب نگهداری خاک و کاهش توان کندن آب در جریان‌های شدید باشند. نهایتاً، شاخه‌های بید ریشه‌دار شده و جوانه زده (عکس داخل)، و درخت‌هایی را به وجود خواهند آورد، که به‌طور دائم سبب پایداری ساحل رودخانه، و بهبود زیستگاه وحوش گردند.

واژه‌ی مهندسی زیستی^۱، فناوری‌های استفاده از پوشش گیاهی (گونه‌های بومی، غیرمهاجم ترجیح داده می‌شوند) و مواد طبیعی قابل تجزیه‌ی زیستی را برای محافظت آبراهه‌هایی که در معرض سرعت بالای آب قرار دارند، مورد بحث قرار می‌دهد. نمونه‌ها شامل استفاده از بسته‌های سرشاخه^۲ برای نگهداری شیب‌های تند است. در این فناوری شاخه‌های زنده درختان محکم به هم بسته شده و به وسیله‌ی میخ‌های چوبی بلند که در بدنه‌ی نهر فرو برده می‌شود در روی سطح قرار گرفته و تا اندازه‌ای با خاک پوشیده می‌شوند. فناوری میخ‌های چوبی زنده^۳ نمونه دیگری از مهندسی زیستی می‌باشد که به‌طور معمول برای استقرار خاک در طول نهرهایی که در معرض سرعت بالایی از آب می‌باشد مورد استفاده قرار می‌گیرند (شکل ۲۷-۱۷). در هر دو مورد خاک بلافاصله مورد حمایت فیزیکی در مقابل کنده‌شدن به وسیله‌ی آب قرار گرفته و در آخر قلمه‌های درحال خواب ریشه داده و سبب حمایت دائمی خاک به وسیله‌ی ریشه عمیق گیاه می‌گردند.

به‌دام‌اندازی رسوبات

در مناطق کوچک با خاک‌های دست خورده، انواع مختلفی از موانع حرکت رسوب^۴ برای صاف‌کردن رواناب قبل از رهاس شدن آن می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد، معمول‌ترین نوع از این موانع رسوب عدل‌های کاه و توری‌های بافته‌شده می‌باشند. اگر این موانع به‌طور مناسب نصب گردند، هر دو می‌توانند سرعت جریان آب را به گونه‌ای مؤثرتر کاهش دهند، به طوری که اکثر رسوبات در بخش فوقانی مانع ته‌نشین شوند (شکل ۲۸-۱۷) درحالی که آب نسبتاً روشن از داخل موانع عبور می‌کند. در مناطق ساختمانی بزرگ مجموعه‌ای از شیب‌ها و آبراهه‌های محافظت‌شده رواناب ناشی از بارندگی به یک یا چند استخر نگهداری‌کننده‌ی رواناب و ته‌نشینی در پایین‌ترین بخش منطقه هدایت می‌کنند. با رسیدن آب جاری به آب ساکن داخل استخر، اکثر بار رسوب آن ته‌نشین گشته (شکل ۲۹-۱۷)، و آب نسبتاً روشن از قسمت‌های فوقانی استخر از طریق آبگیر لوله‌ای امکان تخلیه به استخر دیگر و یا خارج منطقه را پیدا می‌کند. اراضی باتلاقی (بخش ۸-۷) برای کمک به تصفیه سرریز آب استخرهای رسوب‌گیر قبل از تخلیه آب به رودخانه و یا نهرهای طبیعی ایجاد می‌شوند.



شکل ۲۸-۱۷ انواع عملیات مهار رسوب که در پیرامون مناطق ساختمان‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرند. (بالا) یک ردیف از عدل‌های کاه که به وسیله‌ی شاخه‌های چوبی در زمین محکم شده‌اند امکان نشت آب را از داخل خود فراهم ساخته، و اکثر رسوب را صاف کرده و جریان آب را چنان کند می‌کند که آب بار رسوب خود را برجای می‌گذارد. (پایین) یک دیواره رسوب‌گیر که به‌طور مناسب نصب شده است، به گونه‌ای رسوب را از رواناب که از منطقه‌ی ساختمان‌سازی خارج می‌شود جدا می‌کند. مواد دیواره رسوب‌گیر از پلاستیک بافته‌شده تشکیل

گرفته، که امکان جریان آب را از داخل خود یا سرعت بسیار کم فراهم می‌سازد. به رسوب سفیدرنگ در طرف داخل و کف جنگل به هم نخورده در طرف دیگر رسوب‌گیر توجه کنید. دیواره‌ی رسوب‌گیر خوب نصب‌نشده بی‌استفاده است. زیرا رواناب دارای رسوب از زیر آن عبور می‌کند. رسوب‌گیر باید در داخل خاک فرو رود تا از این مسأله اجتناب گردد.

¹ - Bioengineering

² - Brush mattress

³ - Live stake

⁴ - Sediment barriers

عملیات مهار فرسایش در مناطق ساختمان‌سازی معمولاً برای نگهداری رواناب حاصل از بارندگی سبک در محل وقوع آن طراحی می‌شوند. استخرهای نگهداری باید همچنین قادر باشند با رواناب حاصل از بارندگی‌های شدید، که در آن محل هر ۱۰ سال یا ۱۰۰ سال اتفاق می‌افتد، سازگار باشند. در طراحی ظرفیت استخرهای ذخیره رسوب، مدل‌های فرسایش که در بخش ۴-۱۷ بحث گردیدند، برای برآورد میزان رسوب که احتمالاً از منطقه فرسایش می‌یابند مورد استفاده قرار می‌گیرند. هرچند استخرهای ذخیره‌ی رسوب خوب طراحی شده پرهزینه بوده اما می‌تواند به‌صورت چهره‌های دائمی از نظر زیباشناسی برای بالا بردن ارزش نهایی طرح به کار گرفته شوند.



شکل ۲۹-۱۷ تأثیر یک سازه‌ی کوچک رسوب‌گیر در نگهداری مواد معلق فرسایش‌یافته از یک منطقه‌ی ساختمان‌سازی. توجه‌کنید که آبراهه دارای سنگ‌حفاظتی، سبب هدایت رواناب به‌داخل استخر شده و رسوبات بادی‌زنی مصب‌مانند با کاهش سرعت آب هنگام ورود به‌داخل استخر، ته‌نشین می‌شوند لوله قائم در قسمت عقب عکس دارای سوراخ‌هایی است که امکان ورود صاف‌ترین آب را از نزدیک بخش فوقانی لوله فراهم کرده و آنرا از منطقه ساختمان‌سازی خارج می‌سازد.

۱۱-۱۷ فرسایش بادی: اهمیت و عوامل مؤثر در آن

تا حال حاضر، توجه خود را معطوف به فرسایش آبی کرده بودیم، اما باد نیز، سبب فرسایش زیادی می‌شود. فرسایش بادی در مناطق خشک و نیمه‌خشک بسیار معمول بوده، و در بعضی از خاک‌ها در اقلیم مرطوب نیز به‌همین نحو مسأله‌ساز است. این فرایند وقتی رخ می‌دهد که بادهای شدید در سطح خاک‌های نسبتاً خشک غالب باشند. تمام خاک‌ها و مواد خاکی تحت تأثیر فرسایش بادی قرار می‌گیرند. ذرات ریزتر ممکن است به ارتفاعات بسیار بالایی صعود کرده و در طول هزاران کیلومتر پس از پیمودن اقیانوس حتی از قاره‌ای به قاره‌ای دیگر حمل گردند.

در ماه می سال ۱۹۳۴ یک طوفان شدید که از جنوب منطقه‌ی دشت‌های بزرگ^۱ آمریکا شروع شده بود ابرهای بزرگی را از لای رس و ماده‌ی آلی به‌طرف شرق در سواحل اقیانوس اطلس، و حتی خارج از اقیانوس نیز گسیل داشت. گفته می‌شود که آسمان تیره شده با گردوغبار واشنگتن دی‌سی، کنگره را متقاعد کرد که به برنامه‌های جدید و طولانی مدت برای مبارزه با فرسایش اعتبار اختصاص دهد. فرسایش بادی اغلب بسیار مخرب بوده و سبب بروز خساراتی به پوشش گیاهی و خاک‌ها در مناطق فرسایشی، و هم چنین زیان‌های زیست‌محیطی در خارج از محل اصلی، می‌گردد. اشکال (۳۰-۱۷ و ۳۱-۱۷). باد در حدود ۴۰٪ کل خاک‌های انتقال یافته به‌وسیله‌ی فرسایش را در آمریکا جابه‌جا می‌کند. حدود ۱۲ درصد سطح قاره‌ی آمریکا به‌نوعی تحت تأثیر فرسایش بادی است، که ۸٪ آن حالت متوسط را داشته و در ۲ تا ۳٪ دیگر فرسایش شدیدتر است.

در ۱۶ ایالت واقع در دشت‌های بزرگ میزان سالانه‌ی فرسایش بادی از فرسایش آبی در اراضی زراعی بالاتر است، که به‌طور متوسط از ۴ تن درهکتار در ایالت تیراسکا تا ۲۹ تن درهکتار در ایالت نیومکزیکو که مدیریت نادرست اراضی شخم‌خورده و چرای بیش‌ازحد گیاهان مرتعی حساسیت خاک‌ها را به فرسایش بادی سبب گردیده است، متغیر می‌باشد. در سال‌های خشک تأسف‌بارترین نتایج حاصل می‌شود. در مناطق مرطوب وقتی لایه‌های سطحی برخی خاک‌های به‌خصوص خشک شده و سرعت باد نیز بالاست به‌مقدار قابل‌توجهی در معرض فرسایش بادی قرار می‌گیرند. حرکت تپه‌های ماسه بادی در طول ساحل اقیانوس اطلس و در ساحل شرقی دریاچه‌ی میشیگان نمونه‌های از این موارد می‌باشند. فرسایش بادی در شرایط خشکی همچنین سبب بروز زیان‌هایی در خاک‌های زراعی شنی، و با خاک‌های آلی می‌شود. خسارت فرسایش بادی در محل اصلی خود و خارج از آن در بخش ۲-۱۷ بحث گردید.

^۱ -Great Plains



شکل ۳۰-۱۷ فرسایش بادی در حال انجام. (بالا) یکی از نتایج فرسایش بادی طوفان‌های گرد و خاک است، مانند این یکی که در عرض دشت‌های بزرگ تگزاس در حال حرکت است. ابر سیاه چرخان شامل ذرات ریزی است که از فرسایش خاک بر اثر بادهای شدید که سطح اراضی مسطح زراعتی و مراتع را جارو می‌کنند، حاصل می‌شود. ظاهراً اکثر اراضی به‌خوبی مزرعه‌ی گندمی که در عکس دیده می‌شود، فاقد پوشش گیاهی کافی بوده‌اند. (پایین) خاک فرسایش‌یافته به‌وسیله‌ی باد در یک طوفان شنی در ایدهاو تا ارتفاع ۱ متر در امتداد حصار توری تجمع یافته است.



شکل ۳۱-۱۷ خسارت مستقیم ناشی از فرسایش بادی در زراعت گوجه‌فرنگی در یک مزرعه شنی در دلور. (چپ) گیاهان گوجه‌فرنگی در زیر خاک‌های شنی بادرفته مدفون شده‌اند. (راست) میوه‌های جوان گوجه‌فرنگی خسارت ناشی از سایش ذرات^۱ شن را طی یک طوفان شنی به‌طور مستقیم نشان می‌دهند.

^۱ - Sand blasting

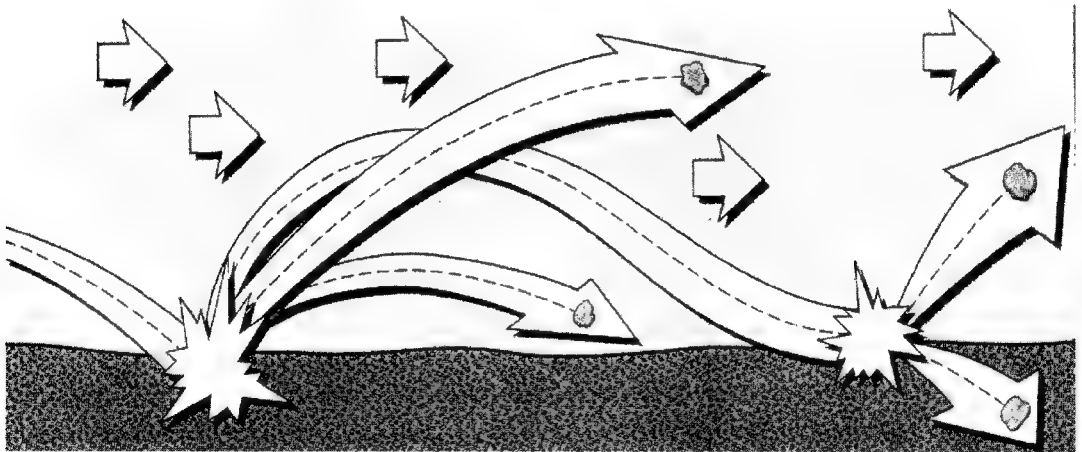
قدرت فرسایشی باد در شکل ۱۷-۳۰ به نمایش گذاشته شده است. به نظر می‌رسد نیروی فرساینده باد در بعضی مناطق بسیار بیشتر از مناطق دیگر باشد برای نمونه، منطقه‌ی نیمه‌خشک دشت‌های بزرگ آمریکا در معرض بادهای قرار دارد که نیروی فرسایشی آن‌ها ۵ تا ۱۰ بار از بادهای معمول در منطقه مرطوب شرق بیشتر است. در دشت‌های بزرگ آمریکا بادهای در فصل زمستان دارای بالاترین قدرت می‌باشند. در سایر مناطق بادهای شدیداً معمولاً در طول تابستان گرم وقوع می‌یابند.

فرسایش بادی یک مسأله جهانی است، بخش‌های وسیعی از کشور اتحاد جماهیر شوروی سابق و جنوب صحرای بزرگ آفریقا دچار صدمات بسیار شدیدی بر اثر فرسایش بادی گردیده‌اند. چرای بیش از حد و سایر سوءاستفاده‌ها از اراضی آسیب‌پذیر در مناطق خشک و نیمه‌خشک به فرسایش بادی امکان داده است که توان تولید خاک را کاهش داده و گرسنگی و فلاکت را برای میلیون‌ها انسان در این مناطق به بار آورد.

سازوکار فرسایش بادی

همانند فرسایش آبی، فرسایش بادی شامل سه فرایند است: (۱) جداکردن^۱ ذره از توده (۲) انتقال ذرات^۲ و (۳) رسوب‌گذاری^۳. هوای در حرکت سبب جداکردن ذرات کوچک از خاکدانه‌ها، و یا کلوخه‌هایی خاک می‌گردد. هرچند اگر هوای در حرکت دارای ذرات خاک باشد، توان ساینده‌ی آن به مراتب افزایش می‌یابد. برخورد این ذرات متحرک سریع سبب جداشدن سایر ذرات از کلوخه‌ها و خاکدانه‌ها می‌گردد. این ذرات جدا شده حال برای یکی از سه حالت انتقال ناشی از باد، عمدتاً براساس اندازه خود آماده می‌باشند.

حرکت جهشی^۴: اولین و مهم‌ترین حالت انتقال ذرات حرکت جهشی و یا حرکت خاک به صورت مجموعه‌ای از جهش‌های کوچک در طول سطح زمین می‌باشد (شکل ۱۷-۳۲). ذرات در حالت جهش نزدیک به سطح زمین باقی‌مانده و به ندرت از ۳۰ سانتی‌متر و یا بیشتر بلند می‌شوند. بسته به شرایط، این فرایند ممکن است ۵۰ تا ۹۰ درصد حرکت کل خاک را به خود اختصاص دهد.



شکل ۱۷-۳۲ فرایند حرکت جهشی. ذرات با اندازه‌ی متوسط (قطر ۰/۰۵ - ۰/۰۵ میلی‌متر) در طول سطح خاک جهش نموده، و یا حرکت خود به سایر ذرات برخورد کرده و آن‌ها را جدا می‌سازند. آن‌ها برای آن‌که به صورت معلق در فاصله‌های طولانی به وسیله‌ی باد حمل شوند بسیار بزرگند اما برای حمل به وسیله‌ی باد به اندازه‌ی کافی کوچک می‌باشند.

خزش سطحی^۵: حرکت جهشی همچنین سبب تقویت حرکت خزشی و یا غلظاندن و خزش ذرات بزرگ در سطح زمین می‌شود. ذرات بلند شده بر اثر جهش با خاکدانه‌های درشت برخورد کرده و حرکت آن‌ها را در سطح خاک سرعت می‌بخشند. حرکت خزشی مسوول حرکت ذرات با قطر حدود ۱ میلی‌متر بوده و ۵ تا ۲۵ درصد کل حرکت را شامل می‌شود.

^۱-Detachment
^۲-Transportation
^۳-Deposition
^۴-Saltation
^۵-Surface creep

تعلیق : تماشایی ترین شیوه حرکت ذرات خاک به صورت تعلیق می باشد. در این حرکت ذرات گرد و خاک در اندازه شن ریز و کوچک تر به موازات سطح زمین و به طرف بالا حرکت می کنند. اگرچه بعضی از آنها در ارتفاعی حمل می شوند که بیش از چند متر نیست، عمل تلاطم باد سبب می گردد که بقیه ذرات کیلومترها در نیوار بالا رفته و صدها کیلومتر به طور افقی حرکت کنند. وقتی باد آرام می شود و یا وقتی بارندگی آنها را در مسیر خود می شوید این ذرات دوباره به زمین باز می گردند. گرچه این شیوه جالب ترین نوع حرکت است، اما به ندرت بیش از ۴۰ درصد کل حرکت را در فرسایش بادی شامل بوده و معمولاً از حدود ۱۵ درصد کل حرکت بیشتر نمی باشد.

عوامل مؤثر در فرسایش بادی

حساسیت به فرسایش بادی در ارتباط با میزان رطوبت خاک می باشد. خاک های مرطوب به خاطر دگرچسبی بین آب و ذرات خاک به وسیله باد به حرکت در نمی آیند. بادهای خشک معمولاً قبل از وقوع فرسایش بادی رطوبت خاک را تا زیر نقطه ی پژمردگی پایین می آورند. سایر عوامل که در فرسایش بادی مؤثرند عبارتند از (۱) سرعت و تلاطم باد، (۲) شرایط سطح خاک، (۳) خصوصیات خاک، (۴) سرشت و جهت گیری پوشش گیاهی.

سرعت باد : میزان سرعت باد، به خصوص تند بادهای با سرعت بیش از متوسط، در فرسایش مؤثر می باشند. آزمایش های نشان داده اند (جدول ۱۳-۱۷ را مشاهده کنید) که سرعت های باد در حدود ۲۵ کیلومتر بر ساعت (۷ متر بر ثانیه) برای شروع حرکت خاک لازم می باشد. در سرعت های بالاتر، حرکت خاک در ارتباط با توان سوم سرعت باد است. بنابراین، میزان خاک حمل شده به وسیله باد با بالا رفتن سرعت باد از ۳۰ کیلومتر در ساعت به سرعت افزایش می یابد.

تلاطم باد : تلاطم باد همچنین در ظرفیت نیوار برای انتقال مواد مؤثر است. اگرچه باد دارای بعضی اثرات مستقیم در برداشت ذرات ریز خاک است، اثرات ذرات انتقال یافته به وسیله باد در برخورد با خاک احتمالاً از اهمیت بیشتری برخوردار است.

ناهمواری سطح^۱ : وقتی سطح خاک ناهموار باشد فرسایش بادی دارای شدت کمتر می باشد. این ناهمواری می تواند به وسیله ی روش های خاک ورزی مناسب، که سبب باقی گذاشتن کلوخه های بزرگ و برجستگی ها در سطح خاک می شوند، ایجاد گردد. باقی گذاشتن خاک پوش کلسی (بخش ۶-۶ را مشاهده کنید) احتمالاً روش مؤثرتری برای هدر رفت ناشی از باد باشد.

خصوصیات خاک : علاوه بر میزان رطوبت چند خصوصیت دیگر خاک که در فرسایش بادی مؤثرند عبارتند از (۱) پایداری مکانیکی کلوخه ها و خاکدانه ها، (۲) پایداری سله ی سطحی خاک، و (۳) وزن مخصوص ظاهری و اندازه ی ذرات فرسایش پذیر خاک. بعضی کلوخه ها در مقابل ساینده ی ذرات حمل شده به وسیله باد مقاومت می کنند. اگر سله خاک حاصل از بارندگی قبلی وجود داشته باشد، ممکن است بتواند با قدرت ساینده ی باد مقابله کند. وجود رس، ماده ی آلی و سایر عوامل چسباندن در یاری رساندن به کلوخه ها و خاکدانه ها برای مقاومت در برابر ساینده ی باد بسیار مهم می باشند و این دلیلی است که چرا خاک های شنی، که از نظر این عوامل فقیرند به سهولت به وسیله باد فرسایش می یابند.

ذرات خاک و یا خاکدانه هایی با قطر حدود ۰/۱ میلی متر از ذراتی که دارای قطر کمتر و بیشتر از این مقدار می باشند فرسایش پذیرترند؛ بنابراین، ذرات شنی ریز به ذرات درشت برخورد کرده و سبب حرکت خزشی آنها می شود. ذرات جهشی همچنین با ذرات کوچک تر برخورد کرده و آنها را به داخل بخش معلق بالا می فرستد.

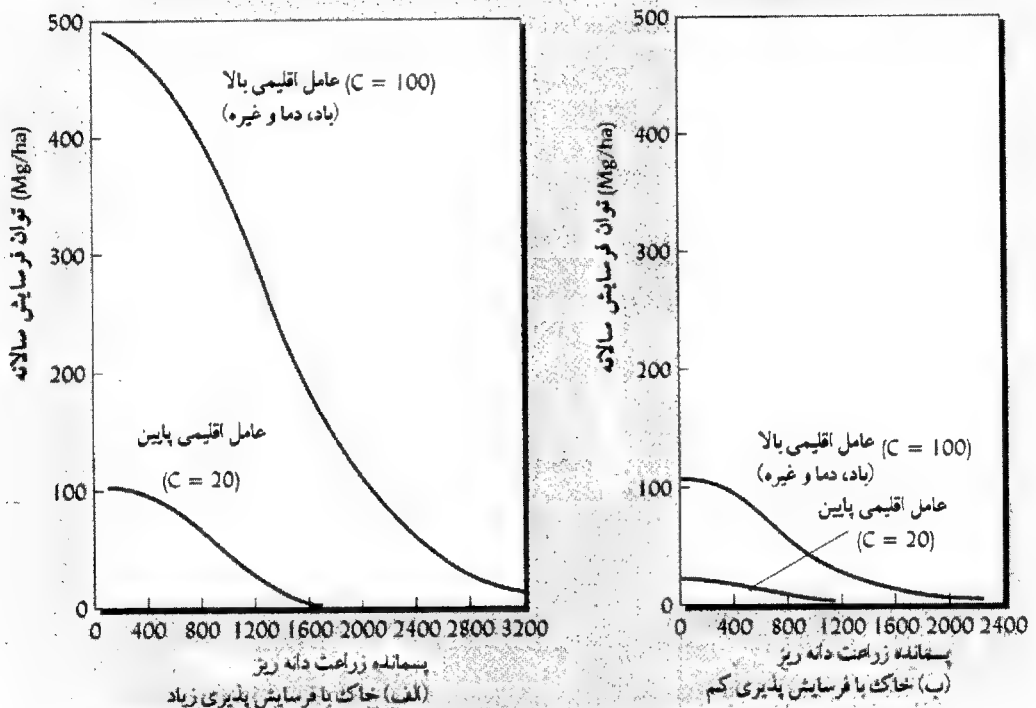
پوشش گیاهی : پوشش گیاهی و یا خاک پوش کلسی سبب کاهش خطرات فرسایش بادی می شوند، به خصوص اگر ردیف های کشت عمود بر جهت باد غالب باشد. آنها به طور مؤثری سرعت باد را در نزدیکی سطح زمین کاهش می دهند. به علاوه ریشه گیاهان سبب پیوند ذرات خاک گردیده و آنها به خسارت ناشی از باد کمتر حساس می شوند.

۱۲-۱۷ برآورد و مهار فرسایش بادی

معادله ی برآورد فرسایش بادی (WEQ) که از اواخر دهه ی ۱۹۶۰ مورد استفاده قرار گرفته است، به صورت $E = f(ICKLV)$ بیان می شود. که در آن E عبارتست از میزان برآورد فرسایش بادی، I عامل فرسایش پذیری خاک، C عامل اقلیمی، K عامل ناهمواری و برجستگی خاک، L عامل عرض مزرعه و V عامل پوشش گیاهی.

¹ -Surface roughness

WEQ شامل عوامل عمدی تعیین کننده شدت فرسایش است اما چگونگی تعامل این عوامل را بر همدیگر نیز مورد ملاحظه قرار می دهد. این مدل به سادگی مدل USLE در فرسایش آبی نیست، آشکاربودن تعامل و اثرات عوامل بر یکدیگر در شکل ۱۷-۳۳ دیده می شود. عامل فرسایش پذیری خاک I در ارتباط با خصوصیات خاک و درجه شیب منطقه مورد نظر می باشد. عامل ناهمواری و برجستگی خاک^۱ K^۱ کلوخه ای بودن سطح خاک، پوشش گیاهی (V)، و برجستگی های موجود در سطح خاک را مورد ملاحظه قرار می دهد. عامل اقلیمی C شامل سرعت باد، دمای خاک، و بارندگی (که در تنظیم رطوبت خاک مؤثر است) می باشد. عامل عرض مزرعه L عبارتست از عرض مزرعه در جهت پایین وزش باد. عامل عرض با تغییر جهت باد تغییر می کند. بنابراین، برای تعیین آن معمولاً از جهت غالب استفاده می شود. عامل پوشش گیاهی V نه تنها در ارتباط با میزان پوشش سطح به وسیله ی پس مانده های گیاهی است، بلکه در ارتباط با سرشت پوشش نیز می باشد. این که پوشش زنده است یا مرده، و آیا سرپا بوده و یا بر روی زمین خوابیده می باشد.



شکل ۱۷-۳۳ تأثیر پس مانده های گیاهی غلات دانه ریز بر توان فرسایش بادی در خاک های با فرسایش پذیری بالا (الف) و فرسایش پذیری پایین (ب). بادهای شدید خشک و دمای زیاد سبب بروز فرسایش به خصوص در خاک ها با خصوصیات فرسایش پذیری بالا می گردند. پس مانده های گیاهی سطحی می توانند برای مهار فرسایش بادی مورد استفاده قرار گیرد

یک مدل تجدید نظر شده، رایانه ای برآورد فرسایش با پیچیدگی و صحت بیشتر، که معادله تجدید نظر شده فرسایش بادی (RWEQ)^۲ نامیده می شود ارائه گردیده است. این مدل هنوز یک مدل تجربی بوده و متکی به سال ها تحقیق می باشد که رابطه ی بین شرایط قابل مشاهده و شدت فرسایش حاصل را مشخص می کند. جدول ۱۴-۱۷ عوامل به کار گرفته در مدل RWEQ را که خطر فرسایش بادی را در فواصل ۱۵ روزه در سرتاسر سال محاسبه می کند، خلاصه نموده است. در هر فاصله ی زمانی مدل عوامل پس مانده های گیاهی، فرسایش پذیری خاک و ناهمواری را براساس اطلاعات ورودی درمورد عملیات مدیریتی و شرایط اقلیمی تنظیم می کند. برای مثال مدل فرض می کند که پس مانده های گیاهی در طول زمان تجزیه شده، عملیات خاک ورزی بقایای سرپا را صاف کرده و بارندگی سبب وارفتن کلوخه ها و کاهش ناهمواری می شود.

^۱ - Soil-ridge roughness factor

^۲ - Revised Wind Erosion Equation

دانشمندان و مهندسين در سراسر جهان درحال همكاري براي توسعه‌ي يك مدل پيچيده وابسته به فرايند تحت عنوان نظام برآورد فرسایش بادی WEPS^۱، همانند مدل فرسایش آبی خواهرش WEPP می‌باشند، این مدل رایانه‌ای تمام فرایندهای اساسی تعامل باد را با خاک مورد شبیه‌سازی قرار می‌دهد. دانشمندان به‌طور مداوم درحال توسعه‌ی مدل بوده و نتیجه‌ی برآوردهای آنرا درمقایسه با اطلاعات قابل‌مشاهده در دنیای واقعی مورد آزمون قرار می‌دهند. وزارت کشاورزی آمریکا^۲ طرحی برای قابل استفاده کردن این مدل دارد، به‌صورتی که بتواند آنرا با WEPP در یک شکل با قابلیت استفاده‌ی آسان برای مصرف‌کننده تلفیق کند. هرچند از آن‌جاکه راه‌اندازی هر دو این مدل‌های متکی به فرايند، نیازمند ارائه‌ی مقدار زیادی اطلاعات در هر زمینه در محلی است که باید فرسایش آن برآورد گردد، باید دید آیا این مدل‌ها هرگز می‌توانند همانند مدل‌های ساده‌تر آزمون شده و صحیح تجربی، که درحال‌حاضر دارای استفاده گسترده‌ای می‌باشند، مورد استفاده قرار گیرند.

جدول ۱۳-۱۷ سرعت آستانه‌ی باد، ارتفاع گذر از حرکت جهشی به تعلیقی، و جرم خاک حمل‌شده به‌وسیله‌ی خزش سطحی، جهشی و تعلیقی در چهار حادثه‌ی فرسایش در اراضی زراعی در منطقه‌ی بیگ اسپرینگ^۳ ایالت تگزاس توجه کنید حرکت جهشی شامل اکثر مواد خاکی به‌حرکت درآمده است، و این حرکت عمدتاً در ارتفاع کمتر از ۳۰ سانتی‌متر از سطح زمین رخ می‌دهد. منطقه نیمه‌خشک، با بارندگی سالانه ۴۷۰ میلی‌متر می‌باشد. خاک فاقد پوشش در یک مزرعه صاف با سری لوم شنی ریز (استالف) می‌باشد.^۴

تاریخ	آستانه‌ی سرعت باد m/s	ارتفاع گذر از حرکت جهشی به تعلیقی cm	جرم مواد حرکت کرده در عرض مسیر باد kg/m		
			خزش سطحی	جهشی	تعلیق کل
۲۲ ژانویه	۶/۸	۲۲	۰/۸۷	۱۳/۳۳	۰/۷۲
۵ فوریه	۷	۲۲	۷/۶۸	۱۴۲/۹	۱۳/۴۳
۱۴ مارچ	۷/۲	۲۸	۰/۴۳	۱۵/۹	۳/۸۹
۲۱ مارچ	۷/۸	۲۷	۰/۱	۲/۴۱	۰/۳

مهار فرسایش بادی

رطوبت خاک : عوامل موجود در معادله فرسایش بادی کلید راه‌های کاهش فرسایش بادی را به‌دست می‌دهند. برای نمونه، از آن‌جاکه رطوبت خاک هم‌چسبی^۵ را افزایش می‌دهد، سرعت باد لازم برای جدا کردن ذرات با افزایش رطوبت خاک به‌طور شدید افزایش می‌یابد. بنابراین، وقتی آب آبیاری در دسترس باشد، مرطوب‌نمودن سطح خاک در صورت پیش‌بینی بادهای شدید معمول است (شکل ۳۴-۱۷). متأسفانه، اکثر فرسایش بادی در مناطق خشک صورت می‌گیرد که در آنجا آب آبیاری موجود نمی‌باشد. پوشش گیاهی بادرویی خاک را به‌خصوص وقتی ریشه‌ی گیاه خوب استقرار یافته باشد، کاهش می‌دهد. در مناطق دیم‌کاری، عملیات صحیح ذخیره رطوبت نیازمند نظام خاک‌ورزی آیش تابستانه در بعضی از اراضی است. بادهای گرم و خشک سبب کاهش رطوبت در سطح خاک می‌شوند. در نتیجه سایر روش‌های خاک‌ورزی باید در اراضی تحت کشت در این مناطق به‌کار گرفته شوند.

عملیات خاک‌ورزی : برخی از عملیات خاک‌ورزی حفاظتی، که در بخش ۶-۱۷ مورد تشریح قرار گرفت، مدت‌ها قبل از آن‌که به‌عنوان وسیله‌ای برای کاهش فرسایش آبی مشهور گردند، در فرسایش بادی مورد استفاده بوده‌اند. نگهداری سطح خاک به‌صورت ناهموار و حفظ مقداری پوشش گیاهی با استفاده از عملیات مناسب خاک‌ورزی قابل انجام است. هرچند پوشش گیاهی باید به‌خوبی در داخل خاک برای جلوگیری از رفته‌شدن آن به‌وسیله‌ی باد محکم گردد. ثابت شده‌است که خاک‌پوش کشی از این نظر بسیار مؤثر می‌باشد.

^۱ - Wind Erosion Prediction System

^۲ - USDA

^۳ - Big spring

^۴ - Amarille fine sandy loam (ustalfs)

^۵ - Cohesion

جدول ۱۴-۱۷ بعضی از عوامل سازنده‌ی معادله‌ی فرسایش تجدیدنظرشده (RWEQ). برنامه‌ی (RWEQ) مقادیری را برای هر عامل در هر ۱۵ روز در طول سال محاسبه می‌کند. به‌علاوه این مدل اثرات عوامل را بر همدیگر، با استفاده از مقدار یک عامل در تغییر سایر عوامل محاسبه می‌کند.

عوامل مدل	عناوین فاکتور فرعی در مدل	نظرات
عامل اقلیم	عامل اقلیم ^۱ WF شامل سرعت باد، مسیر باد، دمای هوا، تشعشع آفتاب، بارندگی و پوشش برف	به‌وسیله‌ی سایر عوامل مانند رطوبت خاک تغییر می‌یابد.
عوامل خاک	بخش فرسایش‌پذیر ^۲ EF، آن بخش با قطر کوچک‌تر از ۰/۸۴ میلی‌متر	بر اساس شن، لای، ماده‌ی آلی و پوشش سنگی
	عامل سله بندی خاک ^۳ SCF	تحت القای بارندگی بوده و به‌وسیله‌ی خاک‌ورزی حذف می‌شود
	ناهمواری سطح ^۴ SR یک عامل تصادفی با توجه به کلوخه‌ها و یا یک عامل جهت یافته با توجه به برجستگی‌ها	در تعامل با بارندگی و خاک‌ورزی می‌باشد.
	مرطوب بودن خاک ^۵ SW	با کم کردن تبخیر و ترمق از بارندگی محاسبه می‌شود.
عامل خاک‌ورزی	عامل خاک‌ورزی ^۶ TF وابسته به نوع وسیله، شرایط خاک، زمان خاک‌ورزی	عامل ناهمواری سطحی، عامل سله‌بندی و غیره را تغییر می‌دهد
عامل تپه‌ای بودن	عامل ^۷ HF که ورودی آن طول و درصد شیب است	در سرعت باد مؤثر است (با بالا رفتن از تپه زیاد می‌شود و بالعکس)
عامل آبیاری	فاکتور ^۸ IR	معادل باران اضافه شده
عامل زراعت	عامل پس‌مانده‌های مسطح ^۹ SLR _f	پوشش خاک به‌وسیله‌ی پس‌مانده‌های گیاهی خوابیده در سطح خاک، که برای هر نبات برآورد شده و تغییرات در زمان به علت تجزیه نیز در نظر گرفته می‌شود
	عامل پس‌مانده‌های ایستاده ^{۱۰} SLR _s وابسته به نوع زراعت، برداشت، ارتفاع، تراکم نبات می‌باشد	پس‌مانده‌های سرپا سرعت باد را در سطح خاک کاهش می‌دهند، تجزیه‌ی بقایا کندتر از بقایای خوابیده است.
	عامل تاج‌پوشش ^{۱۱} SLR _c	با رشد نبات تغییر می‌کند.
موانع	موانع (بادشکن درختی): شامل جهت، تراکم و ارتفاع و فاصله	سرعت باد را در طرف پناه‌گاه کاهش می‌دهد.

^۱ - Weather Factor

^۲ - Erodible Factor

^۳ - Soil Crust Fraction

^۴ - Soil Roughness

^۵ - Soil Wetness

^۶ - Tillage Factor

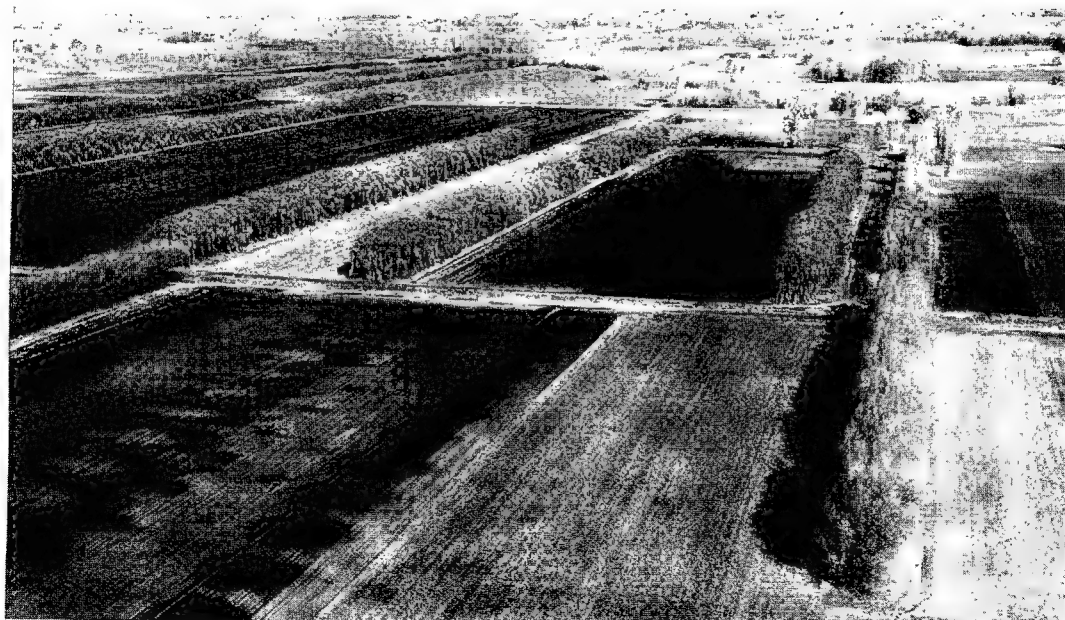
^۷ - Hill Factor

^۸ - Irrigation Factor

^۹ - Soil Residue Flat

^{۱۰} - Soil Residue standing

^{۱۱} - Soil Residue canopy



شکل ۳۴-۱۷ مهار فرسایش بادی در یک منطقه با خاک‌های هیستوسول پرتولید (ساپریست) در میشیگان مرکزی. قبل از جنگل‌تراشی و زه‌کشی، این محل یک منطقه‌ی مردابی نسبتاً جنگلی بود. وقتی این اراضی خشک شوند، خاک‌های هیستوسول تحت خاک‌ورزی بسیار سبک و پرماند بوده و به فرسایش بادی حساس می‌باشند. ردیف درختان (عمدتاً بید) عمود بر جهت غالب باد کشت شده‌اند تا سرعت باد را کاهش داده و این اراضی پرازش آلی را از فرسایش حفاظت کنند. مرطوب‌کردن سطح خاک یکی دیگر از راه‌های مؤثر کاهش فرسایش بادی می‌باشد، که در مزارع با رنگ تیره‌تر در عقب (جایی که سطح آب زیرزمینی بالا آمده است) و دایره‌های تیره‌تر در جلو عکس که آبیاری بارانی استفاده شده است، مشاهده می‌گردند. توجه کنید که عکس در اول بهار قبل از کشت اکثر محصولات، و قبل از این که درختان به‌طور کامل برگ‌دار شوند گرفته شده است.

اثرات خاک‌ورزی نه تنها به نوع وسیله مورد استفاده وابسته است، بلکه در ارتباط با زمان انجام عملیات نیز می‌باشد. انجام عملیات خاک‌ورزی در صورتی که آب کافی برای تشکیل کلوخه‌های درشت وجود داشته باشد می‌تواند فرسایش بادی را به مقدار زیادی کاهش دهد. ممکن است انجام عملیات خاک‌ورزی در خاک خشک سبب ایجاد یک سطح گرد نرم گردد، که سبب تشدید مسأله‌ی فرسایش بادی می‌شود. عملیات خاک‌ورزی برای ایجاد یک سطح کلوخه‌ای باید بر جهت باد غالب عمود باشد. به همین ترتیب زراعت نواری و نوارهای متفاوت از زراعت و آیش باید بر جهت باد غالب عمود باشند.

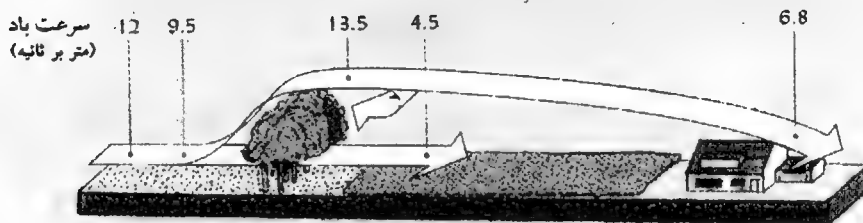
موانع^۱: موانع مانند کمربندهای حفاظتی^۲ (شکل ۳۵-۱۷ الف) در کاهش سرعت باد در فواصل کوتاه و به‌دام‌اندازی خاک بادرفت مؤثر می‌باشند. ادوات مختلفی برای مهار بادروبی خاک‌های شنی، لومی شنی، خاک‌های آلی شخم‌خورده (حتی در مناطق مرطوب) مورد استفاده‌اند. بادشکن‌ها و علف‌های پایدار و بوته‌ها مخصوصاً از این بابت مهم می‌باشند. نرده‌های چوبی و پرده‌های کفنی هرچند به‌عنوان بادشکن از درختانی مانند بید کمتر مؤثرند، اما اغلب ترجیح داده می‌شوند، زیرا می‌توانند با تغییر محصولات و عملیات زراعی جابه‌جا شده و تغییر مکان یابند. کشت چاودار در نوارهای باریک در عرض مزرعه در بعضی مواقع در اراضی با خاک آلی و خاک شنی معمول می‌باشد (شکل ۳۵-۱۷ را مشاهده کنید). ردیف‌های باریک از این علف‌های چندساله مانند علف گندم پاییزه برای مهارکردن مجموعه‌ی فرسایش بادی و به‌دام‌اندازی برف‌های زمستانی در دشت‌های شمالی آمریکا مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند.

^۱ - Barriers

^۲ - Shelter belts



(الف)



(ب)



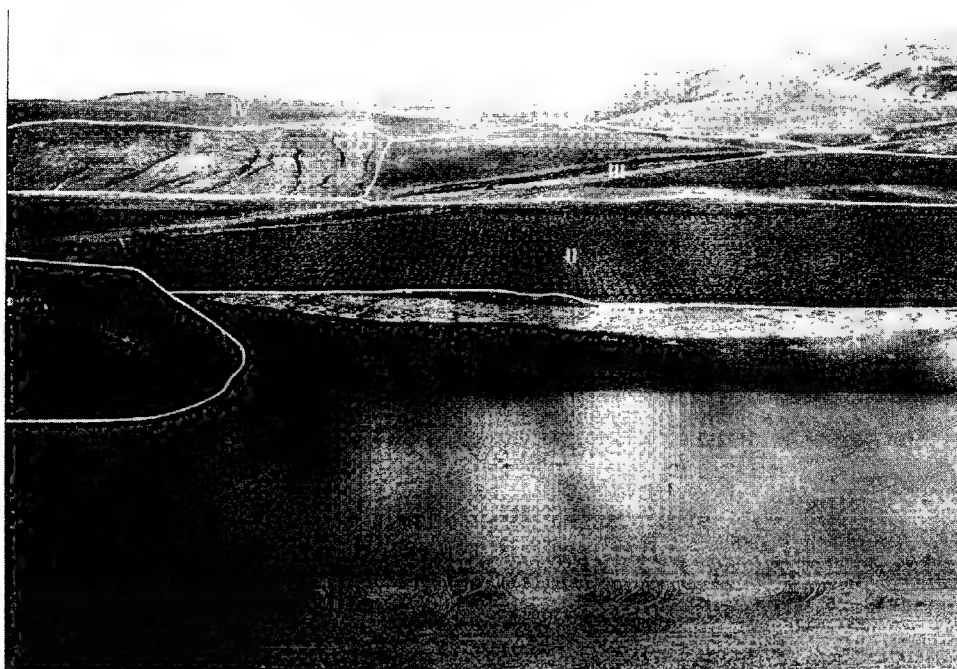
(ج)

شکل ۳۵-۱۷ بادشکن‌ها برای کاهش فرسایش بادی. (الف) بوته‌ها و درختان بادشکن‌های مناسبی ایجاد کرده و به مزارع کشاورزان و ساختمان‌های اطراف در داکوتای شمالی زیبایی می‌دهد. (ب) اثر بادشکن بر سرعت باد. باد به وسیله‌ی درختان به طرف بالا رانده شده و قبل از رسیدن به بادشکن سرعت آن کاهش می‌یابد. در طرف پشت بادشکن کاهش بیشتر در سرعت باد به وجود می‌آید. اثرات تا ۲۰ برابر ارتفاع درختان مشهود است. (ج) نوارهای باریک از چاودار همانند یک بادشکن کوچک برای حفاظت هندوانه‌ها از فرسایش بادی در یک خاک شنی لومی در دشت‌های ساحلی میانی اقیانوس اطلس عمل می‌کنند.

۱۷-۱۳ طبقه‌بندی قابلیت اراضی به‌عنوان راهنمای حفاظت خاک

نظام طبقه‌بندی قابلیت اراضی، که به‌وسیله‌ی وزارت کشاورزی آمریکا تدوین شده است از دهه‌ی ۱۹۵۰ برای ارزیابی استفاده‌های مناسب از انواع مختلف اراضی مورد استفاده قرار گرفته است. این نظام در تعیین انواع استفاده‌های اراضی و عملیات مدیریتی که بتواند فرسایش خاک، خصوصاً ناشی از بارندگی را به حداقل برساند بسیار یاری‌دهنده است.

این نظام از ۸ کلاس قابلیت برای تعیین درجه محدودیت‌هایی که در هر نوع استفاده موجود است استفاده می‌کند (شکل ۳۶-۱۷)، کلاس I دارای کمترین محدودیت و کلاس VIII دارای بیشترین محدودیت است، هر کلاس طرز استفاده ممکن است دارای چهار کلاس فرعی بوده که مشخص‌کننده‌ی نوع محدودیت مورد نظر می‌باشد که عبارتند از: خطر فرسایش (e)؛ مرطوب بودن، زه‌کشی و سیل‌گیری (w)؛ محدودیت‌های منطقه‌ی ریشه مانند اسیدیت، تراکم و عمق کم (s)؛ محدودیت‌های اقلیمی مانند فصل کوتاه رشد (c). زیر کلاس فرسایش (e) معمول‌ترین محدودیت بوده و توجه ما در این جا بر آن‌ها معطوف خواهد شد. برای مثال، اراضی کلاس IIe دارای حساسیت اندک به فرسایش است، درحالی‌که کلاس VIIe فوق‌العاده به فرسایش حساس می‌باشند. شکل ۳۷-۱۷ شدت استفاده مجاز از هر یک از این کلاس‌های قابلیت اراضی را برای جلوگیری از فرسایش (و یا سایر مسایل مربوط به سایر زیر کلاس‌ها) نشان می‌دهد.



شکل ۳۶-۱۷ کلاس‌های قابلیت اراضی در شهرستان سان‌ماتو در ایالت کالیفرنیا، دامنه‌ای از کلاس‌های اراضی تقریباً مسطح در جلو عکس (کلاس I) که می‌تواند به‌طور شدید مورد کشت‌وکار قرار گیرد، تا اراضی بسیار فرسایش یافته تپه‌ماهوری (کلاس‌های VII و VIII). اگرچه پستی و بلندی و خطرات فرسایش در این جا مورد تأیید قرار گرفته‌اند، باید به خاطر داشت که سایر عوامل مانند زه‌کشی، سنگ‌داری و خشکسالی نیز سبب محدودیت استفاده از اراضی شده و در تعیین کلاس اراضی دخیلند.

جدول ۱۵-۱۷ خلاصه‌ای از اراضی دارای محدودیت‌های عمده برای استفاده را در آمریکا ارائه می‌دهد. به‌طور کلی مسایل فرسایش و رسوب حادترین محدودیت در ۶۰ درصد اراضی می‌باشند. مسایل مرطوب‌بودن و کم‌عمق‌بودن هریک محدودیت را در ۲۰ درصد اراضی ایجاد می‌کنند.

در ایالات متحده‌ی آمریکا، کلاس‌های VIII, V, I هریک کمتر از ۳ درصد اراضی دولتی را تشکیل می‌دهند. سایر کلاس‌ها بسیار معمول‌ترند. حدود ۲۰ درصد اراضی در هریک از کلاس‌های VII و VI, III, II و حدود ۱۴ درصد اراضی در کلاس IV قرار دارند. این بدان‌معنی است که حدود ۴۳ درصد اراضی در ایالات متحده (۲۴۲ میلیون هکتار) برای کشت‌وکار معمول مناسب می‌باشند (کلاس‌های III, II, I). ۱۴ درصد دیگر (۷۸ میلیون هکتار) برای کشت گیاهان زراعی در حاشیه قرار دارند. بقیه‌ی اراضی اساساً برای مرتع و جنگل مناسب بوده و عمدتاً برای این مقاصد به‌کار می‌روند. تشریح مختصر از کلاس‌های قابلیت اراضی به‌دنبال می‌آید.

کلاس I: این خاک‌ها عمیق و دارای زه‌کشی مناسب بوده و دارای پستی و بلندی نسبتاً مسطح می‌باشند (شکل ۳۶-۱۷ را مشاهده کنید). این کلاس در استفاده دارای محدودیت اندکی می‌باشند. این خاک‌ها می‌توانند به‌طور مداوم برای زراعت‌های ردیفی، خزانه‌ی درختان و یا هر نوع استفاده‌ی کم‌نهادتر که در شکل ۳۷-۱۷ آمده است مناسب می‌باشند. برای اکثر استفاده‌ها، این خاک‌ها بالاترین تولید را با کمترین هزینه ارائه می‌کنند.

کلاس II: خاک‌های این کلاس از بعضی محدودیت‌ها برخوردارند که امکان انواع استفاده را محدود کرده و یا نیازمند عملیات متوسط حفاظت خاک می‌باشند. خاک‌ورزی و تولید محصولات ردیفی باید محدود گشته و یا بعضی عملیات حفاظتی (خاک‌ورزی حفاظتی، آبراهه چمنی و نوارهای تراز) باید اعمال شوند.

کلاس III: خاک‌های این کلاس دارای محدودیت‌های شدیدی می‌باشند که امکان استفاده از آن‌ها را برای نباتات کاهش داده و یا نیازمند عملیات مخصوص حفاظتی و یا هر دو ساخته است. همان محصولات در کلاس‌های I و II می‌توانند در کلاس III نیز کاشته شوند، اما زراعت‌هایی که ایجاد پوشش بروی خاک می‌کنند مانند علف‌ها و گیاهان نیامدار باید در تناوب مربوطه به‌طور فراوان به‌کار گرفته شوند. گستره‌ی اراضی مورد استفاده برای زراعت‌های ردیفی بسیار محدود می‌شود. برای زیرکلاس W ممکن است شبکه‌ی زه‌کشی مورد نیاز باشد، ممکن است احتیاط خاص و جدول زمان‌بندی برای عملیات برداشت الوار نیز لازم باشد.

کلاس IV: خاک‌های این کلاس می‌توانند برای کشت و کار مورد استفاده قرار گیرند، اما دارای محدودیت‌های شدیدی در انتخاب‌های زراعت و عملیات مدیریتی می‌باشند. اگر این اراضی مورد کشت قرار گیرند، محصولات زراعی باید دارای بوته‌های نزدیک به هم باشند (گندم و یا جو) و گیاهان چمنی و یا علف‌های باید به‌طور گسترده‌ای مورد کشت قرار گیرند. گیاهان ردیفی نمی‌توانند بدون خطر کشت شوند، مگر در روش بدون عملیات خاک‌ورزی^۱ (صفر خاک‌ورزی). انتخاب نبات در صورت وجود رطوبت زیاد (زیرکلاس W) و یا خطر فرسایش ممکن است دچار محدودیت گردد. برای اراضی زراعی تحت کشت و کار سکوبندی، نوارهای تراز و یا سایر عملیات حفاظت خاک لازم می‌باشد. برای برداشت الوار در جنگل نیز روش‌های خاصی لازم می‌باشند.

کلاس V: این اراضی به‌طور کلی برای تولید محصولات زراعی به‌دلیل عواملی غیر از خطر فرسایش، مناسب نمی‌باشند. این محدودیت‌ها شامل ۱-طغیان بیش از حد رودها ۲- کوتاه‌بودن فصل رشد برای نباتات زراعی ۳- خاک‌های سنگی و یا صخره‌ای ۴- اراضی ماندابی که انجام زه‌کشی آسان نیست. در این کلاس اراضی، مراتع می‌توانند توسعه و بهبود یابند.

کلاس VI: خاک‌ها در این اراضی دارای محدودیت‌های بسیار شدیدی می‌باشند (به‌خصوص، شیب‌های تند، و خطر زیاد فرسایش) که استفاده‌ی آن‌ها را به مرتع طبیعی، مرتع مصنوعی، درخت‌زار و یا حیات‌وحش منحصر می‌سازد. ورود به جنگل باید محدود گردیده و احتیاط خاص در ساخت جاده‌های دسترسی جنگل معمول گشته و فناوری برداشت متناوب الوار مورد استفاده قرار گیرد.

کلاس VII: محدودیت‌های شدید در این اراضی استفاده از آن‌ها را به چرای مدیریت شده، درخت‌زار و یا حیات‌وحش محدود می‌کند. محدودیت‌های فیزیکی همانند کلاس VI است با این تفاوت که آن‌ها چنان شدیدند که بهبود مراتع غیرعملی است. ممکن است برداشت الوار به‌وسیله‌ی روش طناب سیمی و بالن لازم باشد فقط باید محدوده‌های کوچکی از جنگل برداشت شده و ورود به جنگل فوق‌العاده محدود گردد.

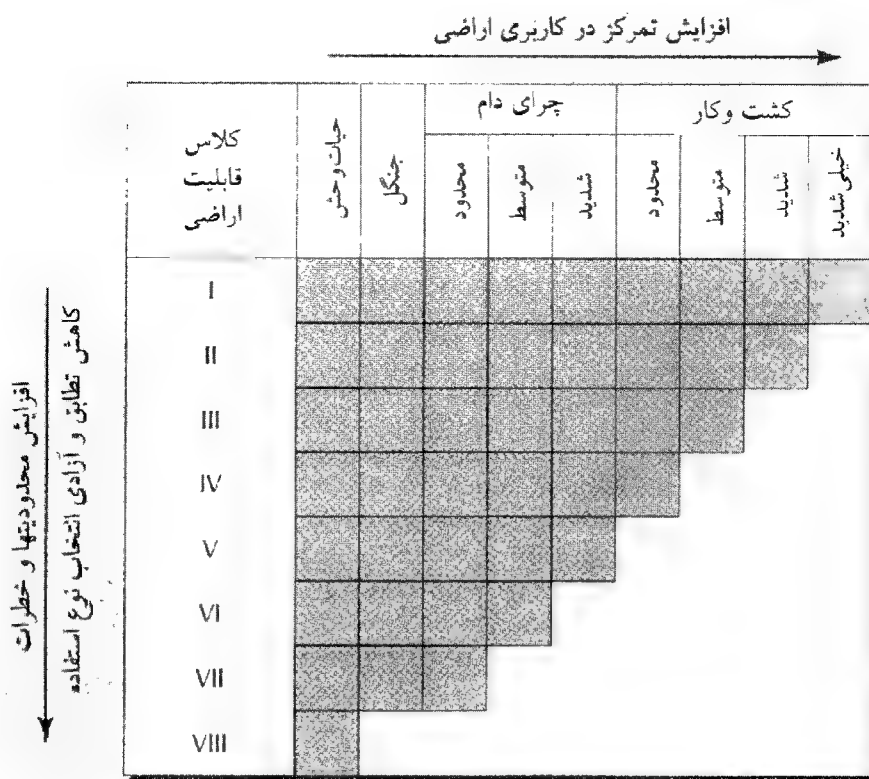
کلاس VIII: در این کلاس قابلیت اراضی، خاک‌ها نباید برای هر نوع تولید تجاری محصولات گیاهی مورد استفاده باشند، طرز استفاده به تفرج‌گاه، حیات‌وحش، تأمین آب و یا مقاصد زیباشناسی محدود می‌شود. این اراضی شامل سواحل شنی، آبرفت رودخانه‌ها و یا بیرون‌زدگی‌های سنگی می‌باشند.

طرح طبقه‌بندی قابلیت استفاده از اراضی استفاده عملی را که می‌توان از مطالعات خاک‌شناسی به‌عمل آورد تشریح می‌کند (بخش ۷-۱۹ را مشاهده کنید). بسیاری از خاک‌ها که به‌وسیله‌ی مطالعه‌کننده‌ی خاک در روی یک نقشه جدا می‌شوند از نظر بی‌خطرترین و بهترین استفاده در درازمدت مورد نظر قرار می‌گیرند. ۸ کلاس طبقه‌بندی قابلیت اراضی به نقطه‌ی شروع ارائه طرح‌های طرز استفاده از اراضی تبدیل گردیده است که سبب ارتقای استفاده بخردانه و حفاظت از اراضی به‌وسیله‌ی هزاران زارع، دامدار و سایر مالکان اراضی شده است.

^۱ Zero Tillage- No Tillage

جدول ۱۵-۱۷ درصد اراضی با محدودیت‌های عمده در کلاس‌های مختلف قابلیت استفاده از اراضی. فرسایش و رسوب مهمترین محدودیت می‌باشند، اما مرطوب بودن و کم عمق بودن به‌وفور وجود دارند.

درصد اراضی با محدودیت عمده‌ی مشخص شده				
کلاس کاربری	فرسایش و رسوب	مرطوب بودن	عمق کم	خطر اقلیمی
II	۵۱	۳۴	۸	۷
III	۶۷	۲۲	۹	۲
IV	۶۹	۱۶	۱۴	۱
VI	۶۲	۸	۲۶	۳
VII	۴۷	۶	۴۵	۲
کل	۵۹	۱۸	۲۱	۳



شکل ۳۷-۱۷ تنوع و شدتی که هر کدام از کلاس‌های قابلیت اراضی می‌توانند بدون خطر مورد استفاده قرار گیرد. به افزایش محدودیت‌ها در استفاده‌ی بدون خطر از اراضی با عبور از کلاس I به کلاس VIII توجه کنید.

۱۴-۱۷ پیشرفت در حفاظت خاک

فرسایش خاک

فرسایش خاک در آمریکا هنگامی که اولین مهاجران اروپایی درختان جنگلی را برای کشت و کار در اراضی شیب‌دار در بخش مرطوب شرقی کشور قطع کردند، تشدید گردید. فرسایش خاک عامل کاهش توان تولیدی اراضی بود که طی زمان سبب ترک آن‌ها و مهاجرت مردم به سمت غرب کشور برای پیدا کردن اراضی زراعی جدید گردید.

به دنبال کسادی جهانی و خشکسالی‌های گسترده‌ی اول دهه‌ی ۱۹۳۰ که سبب تشدید فقر و فلاکت روستاییان و جابه‌جایی میلیون‌ها مردم گردید، ملت توجه خود را به تخریب شدید خاک خود معطوف داشت. در سال ۱۹۳۰ دکتر هب بنت^۱ و همکاران به خسارات به‌عمل آمده پی برده و حمایت دولت فدرال را برای انجام فعالیت‌های مهار فرسایش کسب کردند. حال بعد از ۷۰ سال تلاش‌های به‌عمل آمده درمورد حفاظت خاک، فرسایش خاک هنوز یک مسأله برجسته در نصف اراضی زراعی کشور می‌باشد.

در دهه‌های ۱۹۴۰ و ۱۹۵۰ پیشرفت‌های قابل‌توجهی در کاهش فرسایش خاک با اعمال عملیات فیزیکی مانند اجرای کشت نواری، سکویندی و بادشکن با تشویق و حمایت سازمان‌های دولتی حاصل گردید. بعضی از این پیشرفت‌ها هنگامی که مشخص شد که تراس‌ها و بادشکن‌ها موانعی در مقابل سیاست تولید محصولات دهه ۱۹۷۰ (کشت از حصار تا حصار^۲) می‌باشد، پیشرفت‌های انجام شده معکوس گردید. سپس در دهه ۱۹۸۲ تا ۱۹۹۲ پیشرفت نسبتاً قابل‌توجهی (جدول ۱۶-۱۷) در فرسایش خاک عمدتاً در نتیجه دو اقدام به‌دست آمد که عبارتند از: ۱- گسترش خاک‌ورزی حفاظتی (بخش ۶-۱۷)، و ۲- اعمال تغییرات در کاربری‌های اراضی به‌عنوان بخشی از برنامه حفظ ذخایر اراضی. پیشرفت در این دو جبهه در حال تداوم است. هرچند حدود ۱/۲ اراضی زراعی تحت کشت‌وکار هنوز بیشتر از ۱۱ تن درهکتار در سال خاک را ازدست می‌دهند. این رقم حداکثر هدررفتی است که می‌تواند بدون کاهش توان تولید در اکثر خاک‌ها، به‌طور پایدار مورد قبول باشد.

جدول ۱۶-۱۷ فرسایش آبی و بادی در اراضی زراعی آمریکا در سال‌های ۱۹۸۲ و ۱۹۹۲ بخشی از کاهش کل فرسایش خاک به‌خاطر کاهش اراضی از ۱۶۶ میلیون هکتار در سال ۱۹۸۲ به ۱۵۰ میلیون هکتار در سال ۱۹۹۲، عمدتاً به‌خاطر برنامه‌های دولتی بوده است.

سال	متوسط میزان فرسایش سالانه در واحد سطح، تن در هکتار			کل فرسایش خاک سالانه، میلیارد تن
	فرسایش بادی	فرسایش آبی	مجموع فرسایش بادی و آبی	
۱۹۸۲	۹/۲	۷/۴	۱۶/۶	۲/۷۵
۱۹۹۲	۶/۹	۵/۶	۱۲/۵	۱/۸۸
تغییرات	-۲۵ درصد	-۲۴ درصد	-۲۵ درصد	-۳۲ درصد

برنامه حفاظت ذخایر اراضی^۳ (CRP)

بخش عمده‌ی کاهش فرسایش خاک (حدود ۶۰ درصد) حاصل شده در آمریکا از سال ۱۹۸۲ در ارتباط با برنامه‌های دولتی و پرداخت‌های دولت به زارعین برای تبدیل اراضی خود به مراتع و جنگل‌ها بوده است. استقرار گیاهان مرتعی و یا درختان در این اراضی زراعی سابق سبب کاهش فرسایش شیار و بین‌شیاری از ۱۹/۳ به ۱/۳ مگاگرم درهکتار و فرسایش بادی از ۲۴ به ۲/۹ مگاگرم در هکتار شده است. بین سال‌های ۱۹۸۲ تا ۱۹۹۲، ۱۳ میلیون هکتار از اراضی زراعی به این استفاده‌های غیرزراعی از طریق برنامه حفاظت ذخایر برگشت داده شده‌اند. فقط نصف این مساحت (حدود ۷ میلیون هکتار) به‌صورت اراضی با فرسایش‌پذیری بالا^۴ بوده‌اند. در سال ۱۹۹۵ طرح CRP به‌منظور هدف قراردادن این اراضی و سایر اراضی با حساسیت زیست‌محیطی مورد بازبینی قرار گرفت (شکل ۳۸-۱۷ الف). در سال ۱۹۹۷ توزیع اراضی CRP در کشور همخوانی بسیار نزدیکی با توزیع اراضی HEL داشته است و این بدان‌معنی است که اراضی با بیشترین حساسیت به فرسایش آن‌هایی هستند که از تولید محصولات زراعی خارج شده و به زیرکشت مراتع و جنگل‌ها برده شده‌اند (شکل ۳۸-۱۷ ب).

^۱ -H.H.Bennet

^۲ -«Fence row to fence row» این سیاست به‌دنبال ایجاد سازمان OPEC در سال ۱۹۷۲، در آمریکا و کشورهای غربی به‌منظور کشت در سطوح هرچه وسیع‌تر برای تولید هرچه بیشتر محصولات غذایی و استفاده از آن به‌عنوان سلاحی در مقابل سلاح نفت موردتوجه قرار گرفت، که بعداً از گردونه خارج شد (به نقل از دکتر کوثر)

^۳ -Conservation Reserve Program

^۴ -Highly Erodible Land (HEL)

اراضی با فرسایش‌پذیری بالا (HEL) به‌وسیله‌ی سازمان حفاظت منابع طبیعی آمریکا چنین تعریف شده است «که آن اراضی که طبق برآورد معادله USLE بر روی خاک فاقد پوشش محافظت نشده ۸ برابر مقدار پارامتر (T) فرسایش ایجاد نمایند.

$$R \times K \times LS \geq 8T$$

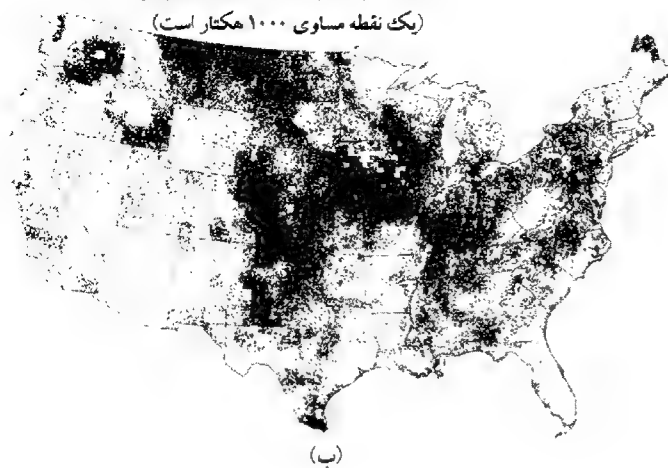
CRP عبارتست از برنامه‌ای که به وسیله‌ی آن پرداخت‌کننده‌گان مالیات به زارعین برای ترک کشت و کار در بخشی از زمین خود و کشت درختان و مراتع به جای آن‌ها، مالیات می‌دهند (برای درختان مالیات بیشتری داده می‌شود). توافق اجاره‌ی زمین (اجاره‌نامه) برای ۱۰ تا ۱۵ سال به عمل می‌آید که در این مدت اراضی دست‌نخورده باقی می‌مانند. منافع ملی نه تنها در کاهش بیشتر فرسایش و آلودگی ناشی از رسوبات تجلی می‌یابد، بلکه در افزایش شدید جمعیت حیات وحش، مانند پرندگان و حیوانات نیز نهفته است که از زیستگاه حفاظت شده جدید استفاده می‌برند. وقتی نوارهای حفاظتی در امتداد رودخانه‌ها (نوار حفاظتی کنار رودخانه)^۱ با برنامه CRP تلفیق گردد مزایای بهبود کیفیت آب نیز بر آن افزوده خواهد شد.

USDA Conservation Reserve Program (CRP) Land in 1997
(یک نقطه مساوی ۱۰۰۰ هکتار است)



(الف)

Highly Erodible Land (HEL) in the U.S.
(یک نقطه مساوی ۱۰۰۰ هکتار است)



(ب)

شکل ۳۸-۱۷ توزیع اراضی در ایالات متحده (الف) اراضی ثبت‌شده در برنامه (CRP) و (ب) اراضی که بسیار فرسایش‌پذیر می‌باشند (HEL) توجه کنید در سال ۱۹۹۷ به نظر می‌رسد توزیع کاملاً مشابه باشد که بیانگر این است که اراضی بسیار حساس به فرسایش همان‌هایی هستند که از تولید خارج شده و به زیر کشت علف و درخت برده شده‌اند.

تطابق برنامه‌های حفاظت خاک با نیازهای زارعین کم زمین

هرچند پیشرفت در دهه‌های قبل راضی‌کننده است، اما فرسایش خاک هنوز خیلی زیادست تلاش‌های مداوم برای حفظ خاک و نگهداری آن در محل اصلی باید انجام پذیرد. در ایالات متحده حدود ۳۰ میلیون هکتار از اراضی خیلی فرسایش‌پذیر به طور میانگین سالانه به از دست دادن ۱۵ مگاگرم خاک در هکتار در فرسایش آب، و معادل آن در فرسایش بادی ادامه می‌دهند. به‌رغم پیشرفت‌های قابل‌توجه به عمل آمده، نظام خاک‌ورزی حفاظتی در بیشتر از نصف اراضی ملی تطابق نیافته است، و کسی نمی‌داند هنگامی که سرسید اجاره‌نامه‌ها منقضی گردد چه برسر CRP خواهد آمد. مبارزه برای به‌زیرمهمیز آوردن فرسایش نه تنها در آمریکا بلکه در سراسر جهان تازه آغاز شده است. در بسیاری از مناطق جهان اراضی موجود برای هر زارع جهت تولید محصولات غذایی چنان محدود است که او نمی‌تواند توصیه‌های دلربای طبقه‌بندی قابلیت استفاده اراضی را که در فصل ۱۳-۱۷ تشریح گردید، دنبال کند. بسیاری از زارعین باید تمام اراضی

^۱ - Riparian buffer strips

دارای قابلیت تولید مواد غذایی را برای رفع گرسنگی مورد استفاده قرار دهند. این زارعین معمولاً درک می‌کنند که کشت و کار در اراضی فرسایش‌پذیر زندگی آرام آنها و بچه‌های آنها را در آینده به مخاطره خواهد انداخت، اما آنها انتخاب دیگری ندارند. انتخاب استفاده غیر کشاورزی برای این مردم، و یا پیدا کردن نظام‌های پایدار در روی این اراضی الزامی می‌باشد.

خوشبختانه بعضی از زارعین و دانشمندان از طریق روش‌های سنتی طولانی سازگاری، و یا نوآوری و تحقیق موفق به ارائه نظام‌های کشت و کار شده‌اند که می‌تواند ضمن تولید غذا و منافع، این منابع فرسایش‌پذیر را نیز حفظ کنند. نمونه‌ای از این روش‌ها شامل باغات خانگی سنتی کوه‌های مرطوب سریلانکا است که در آنها مجموعه‌ای از درختان بلند میوه و درختان فندقه‌دار همانند جنگل بارانی در ترکیب با همدیگر قرار گرفته و زیراشکوب آنها را بوته‌های لفل، درختچه‌های قهوه و گیاهان چاشنی برای برداشت محصولاتی بارزش. ضمن حفظ خاک در زیرپوشش این گیاهان چندساله تشکیل می‌دهد. مثال دیگر از آمریکای مرکزی است که در آنجا کشاورزان یاد گرفته‌اند کشت مترامی از لوبیای مخملی^۱ (موکونا) و یا سایر نباتات نیامداران رونده به‌عمل آورند، تا به‌وسیله‌ی داس ساطوری قطع شده و یک خاک‌پوش حفاظت‌کننده خاک، ذخیره‌کننده رطوبت و محدودکننده علف هرز در اراضی زراعی شیب‌دار ایجاد کنند. در آسیا اراضی پرشیب با دقت هرچه بیشتر چنان سکوبندی شده‌اند که امکان تولید محصولات غذایی در آنها فراهم است، حتی مزارع برنج کوهپایه‌ای^۲ در اراضی فوق‌العاده پرشیب بدون فرسایش قابل توجه ایجاد گردیده‌اند.

بسیاری از نمونه‌ها در آمریکا و سراسر جهان روشن می‌سازند وقتی حکومت‌ها برای ایجاد عملیات حفاظت خاک زارعین را در رودریاستی و یا فشار قرار داده و یا با پرداخت پول آنها را مجاب می‌کنند، به‌نظر نمی‌رسد که نتایج عمر چندانی داشته باشد. معمولاً زارعین عملیات ناخواسته را به محض برداشت فشار رها می‌سازند. از طرف دیگر اگر دانشمندان و متخصصین حفاظت خاک به زارعین برای ارائه و تطبیق نظام‌های کشاورزی که زارعین احساس می‌کنند برای آنها و زمینشان مفید است کمک کنند در آن‌صورت پیشرفت مؤثر و پایدار حاصل خواهد آمد. تحریمی موجود در کشور آمریکا در مورد نظام‌های خاک‌ورزی حفاظتی، و نظام‌های کشت و کار خاک‌پوش در آمریکای مرکزی، و سوانع گیاهی تراز در آسیا نشان داده‌اند که زارعین می‌توانند در ارائه عملیاتی که برای زمین و منافع آنها مفید است (کار بدون‌باخت) مساعدت کنند.

۱۵-۱۷ نتیجه‌گیری نهایی

فرسایش تسریعی یکی از حادترین مسایل اجتماعی و زیست‌محیط است که امروزه بشریت با آن مواجه می‌باشد. فرسایش سبب تنزل کیفیت خاک شده و توان تولید آن را در محصولاتی که مردم و احشام به آن متکی می‌باشند کاهش می‌دهد. اهمیت همسنگ با آن خسارت زیاد فرسایش در مناطق پایین‌دست در مخازن، دریاچه‌ها، آبراهه‌ها، بنادر و محدوده تأمین آب شهرها می‌باشد. فرسایش بادی سبب تولید گردوغبار معلق گردیده که برای سلامت انسان‌ها بسیار خطرناک است.

تقریباً حدود ۴ میلیارد تن خاک هر سال تنها از اراضی کشور آمریکا فرسایش می‌یابد. نصف این فرسایش در اراضی زراعی است، بقیه از مناطق جنگلی برداشت الوار، مراتع و مناطق ساختمان‌سازی حاصل می‌شود. در حدود ۱/۳ از اراضی زراعی میزان فرسایش از مقادیری که به‌نظر قابل تحمل می‌رسند بیشتر است.

رواناب طی فرسایش صفحه‌ای و شیاری اکثر رسوبات را در مناطق مرطوب حمل می‌کند. آبکندها، که بر اثر رگبارهای شدید و استثنایی ایجاد می‌شوند، اکثر فرسایش را در مناطق خشک‌تر به‌خود اختصاص می‌دهند. در بسیاری از مناطق خشک‌تر به‌خصوص در فصول وزش بادهای شدید، هنگامی که خاک فاقد پوشش و دارای رطوبت اندک است باد عامل اصلی فرسایش به‌شمار می‌رود.

حفاظت خاک از بغمای آب و باد مؤثرترین روش برای محدود کردن فرسایش می‌باشد. در اراضی زراعی و جنگل‌ها، این حفاظت عمدتاً به‌وسیله‌ی پوشش نباتات و بقایای گیاهی آنها انجام می‌شود. عملیات خاک‌ورزی حفاظتی سبب حفظ پوشش گیاهی حداقل در ۳۰ درصد خاک می‌گردد. گسترش تطابق این عملیات سبب دست‌یابی به کاهش قابل توجه فرسایش در طول دو دهی گذشته شده است. تناوب گیاهی که نباتات چمنی و زراعت‌های مترام را در بر داشته باشد همراه با عملیاتی مانند خاک‌ورزی تراز، کشت نواری و سکوبندی، همچنین در مبارزه با فرسایش در مناطق زراعی مؤثر می‌باشد.

^۱ - Velvet bean (*Mucuna*)

^۲ - Paddy

در مناطق جنگلی، اکثر فرسایش همراه با عملیات برداشت و ایجاد جاده‌های جنگلی است. به منظور حفظ توان تولید جنگل در آینده و کیفیت آب در حال حاضر، عملیات برداشت الوار باید بسیار انتخابی بوده و هزینه بیشتری برای ایجاد جاده‌های مناسب پرداخت گردد. مناطق ساخت و ساز جاده‌ها، ساختمان و سایر طرح‌های مهندسی بسیاری از خاک‌ها را در مناطق پراکنده کرده و فاقد پوشش گیاهی می‌کند که سبب ایجاد مسایل حاد فرسایش می‌شود. مهار رسوب از مناطق ساختمان‌سازی نیازمند مرحله‌بندی قطع درختان و پوشش دادن خاک به‌طور طبیعی یا مصنوعی، و ایجاد موانع مختلف و استخرهای نگهداری رسوب است. ممکن است به‌کارگیری این عملیات پرهزینه باشد، اما هزینه‌هایی که در صورت مصاحبه و مهار نکردن رسوب، جامعه باید پرداخت کند، بسیار سنگین‌تر است، وقتی عملیات ساختمانی تکمیل گردید، میزان فرسایش در مناطق شهری معمولاً به اندازه‌ی میزان فرسایش در مناطق تحت پوشش طبیعی پایین می‌باشد. نظام‌های مهار فرسایش باید در همکاری با کسانی که از زمین بهره می‌برند، به‌خصوص افراد فقیر که نیازهای فوری زندگی آن‌ها بر سرنوشت آینده‌ی اراضی سایه می‌اندازد، ابداع گردد. همان‌طور که در فیلم رودخانه، فیلم مستند کلاسیک که در تولد دوباره هوشیاری آمریکاییان از فرسایش خاک در دهه‌ی ۱۹۳۰ تهیه گردیده به‌طور موجز آمده است: «اراضی فقیر، مردم فقیر را می‌سازند و مردم فقیر اراضی فقیر را».

سوالات مطالعه‌ای

- ۱- تفاوت بین فرسایش زمین‌شناسی و فرسایش تسریعی را تشریح کنید. آیا تفاوت در بین این دو در مناطق مرطوب بیشتر است یا در مناطق خشک؟
- ۲- وقتی فرسایش به وسیله‌ی آب و یا باد رخ می‌دهد، سه نوع زیان‌هایی که به دنبال وقوع فرسایش در اراضی بروز می‌کند، چیست؟ ۵ نوع خسارت مهم که فرسایش در مناطقی خارج از محل وقوع خود به‌بار می‌آورد چیست؟
- ۳- مقدار معمول T چه قدر است، این واژه چه معنایی دارد؟ توضیح دهید چرا به خاک‌های به‌خصوص رقم T بزرگ‌تری از سایر خاک‌ها اختصاص داده شده است.
- ۴- سه مرحله‌ی اصلی در فرایند فرسایش آبی را تشریح کنید.
- ۵- بسیاری از مردم بر این باورند که میزان فرسایش خاک در اراضی یک حوزه‌ی آبخیز (A در معادله جهانی هدررفت خاک) همان مقدار رسوبی است که به وسیله‌ی رودخانه‌هایی که حوزه را تخلیه می‌کنند حمل می‌شود. چه عاملی در این فرض نادرست فراموش شده است. آیا فکر می‌کنید که USLE باید تغییر نام یابد؟
- ۶- چرا مقدار کل بارندگی سالانه‌ی یک منطقه راهنمای خیلی خوبی برای برآورد میزان فرسایش در یک خاک به‌خصوص فاقد پوشش نمی‌باشد؟
- ۷- چه تعارضی در خصوصیات یک خاک با فرسایش‌پذیری زیاد و یا فرسایش‌پذیری کم انتظار دارید؟
- ۸- چه مقدار خاک از سری لوم سیلتی Keene در اوهایی مرکزی در یک شیب ۱۲٪ با طول ۱۰۰ متر، در صورتی که زمین تحت پوشش مرتع متراکم دائمی بوده و عملیات حفاظت اراضی انجام نگردد، احتمالاً فرسایش می‌یابد؟ از اطلاعات موجود در این فصل برای محاسبه استفاده کنید.
- ۹- کدام یک از عملیات خاک‌ورزی حفاظتی بیشترین مقدار پوشش خاک را به وسیله‌ی پس مانده‌های گیاهی باقی می‌گذارد؟ مزایا و مضار این نظام چیستند؟
- ۱۰- چرا نوارهای باریک گیاهان چمنی کاشته شده بر روی خطوط تراز بعضی مواقع سکوها زنده نامیده می‌شوند؟
- ۱۱- در اکثر جنگل‌ها کدامیک از اجزای بوم‌سامان؛ تاج پوشش، ریشه درختان، و یا لاشبرگ اساسی‌ترین حمایت را در مقابل فرسایش آبی اعمال می‌کنند؟
- ۱۲- ویژگی‌هایی از خاک که آن را معمولاً حساس به فرسایش بادی و یا فرسایش آبی می‌کنند، کدامند؟ ۴ خصوصیت که خاک را به فرسایش بادی حساس می‌سازند، نام ببرید. مشخص کنید که کدام دو خصوصیت از این ۴ خصوصیت خاک را به فرسایش آبی نیز حساس و کدام دو خصوصیت دیگر حساس نمی‌سازد؟
- ۱۳- کدام سه عامل موجود در معادله برآورد فرسایش بادی (WEQ) تحت تأثیر خاک‌ورزی قرار می‌گیرند؟ توضیح دهید.
- ۱۴- یک خاک در کلاس قابلیت IIw را با یک خاک در کلاس قابلیت IV e مقایسه کنید.
- ۱۵- چرا ارتباط نزدیک بین اراضی در طرح CRP و اراضی مشهور به HEP در حفاظت خاک مهم می‌باشد؟

این مزبله سیاه است و بدقراچام
تدبیری مگر درست شود انجام
«ویلیام شکسپیر در رومئو و ژولیت»

فصل ۱۸

خاک‌ها و آلودگی شیمیایی

خاک، خواسته یا ناخواسته، دریافت‌کننده‌ی اصلی هزاران نوع ضایعات و مواد شیمیایی مورد مصرف در جامعه امروزی می‌باشد. همیشه راحت‌تر این بوده است که «چیزها دور ریخته شوند» و خاک دریافت‌کننده اکثر این چیزها بوده است. هرسال میلیون‌ها تن از این فرآورده‌ها از منابع مختلف، صنعتی، خانگی و کشاورزی راه خود را در داخل خاک‌های سرتاسر جهان پیدا می‌کنند. به محض ورود در خاک این مواد به بخشی از چرخه زیستی که در تمام اشکال حیات مؤثر است، تبدیل می‌شوند. یکی از چالش‌هایی که فراروی بشریت است درک بهتر چگونگی تأثیر ضایعات در این چرخه، و سپس بهبود حیات گیاهی و جانوری می‌باشد.

در فصول قبل ظرفیت عظیم خاک‌ها را در قبول مواد شیمیایی آلی و معدنی روشن نمودیم. تنها از بقایای آلی و کودهای دامی به وسیله میکروب‌های خاک هرسال تجزیه شده (فصل ۱۲)، و مقادیر بزرگی از مواد شیمیایی معدنی در پیوند و یا تثبیت پایدار با کانی‌های خاک قرار می‌گیرند (فصل ۱۴). ما همچنین از محدودیت‌های ظرفیت خاک‌ها برای قبول این مواد شیمیایی باخبر شده، و اثرات مصیبت‌بار آنها را بر کیفیت زیست‌محیط با گذر از مرزهای این محدودیت، مشاهده کرده‌ایم.

ما دیده‌ایم که چگونه فرایندهای خاک در قبول و یا آزادسازی ضایعات تأثیر می‌گذارند. برای نمونه تولید و تمرکز گازهای گلخانه‌ای مانند اکسید نیترو، متان و اکسیدکربن (بخش‌های ۱۱-۱۲ و ۱۹-۱۳ را مشاهده کنید)، سخت تحت تأثیر فرایندهای خاک می‌باشند. سایر گازهای حاوی گوگرد و نیتروژن از منابع خانگی و صنعتی و همچنین از خاک‌ها حاصل می‌شوند که سبب اسیدی‌شدن نیوار، و ریزش باران‌های اسیدی می‌باشند (فصل ۶-۹ را مشاهده کنید). مدیریت بی‌رویه طرح‌های آبیاری سبب تجمع نمک‌ها، به خصوص در خاک‌های مناطق خشک می‌شود (بخش ۳-۱۰ را مشاهده کنید).

ما همچنین مشاهده کرده‌ایم که استعمال کودهای شیمیایی و کود دامی، که مقادیر زیادی عناصر غذایی در خاک باقی می‌گذارند، می‌توانند به آلودگی اراضی و آب‌های سطحی بر اثر نترات‌ها (بخش ۸-۱۳) و فسفات‌ها (بخش ۲-۱۴) بیانجامد. غنی‌شدن استخرها، دریاچه‌ها و یا حتی رودهای آرام کم‌سرعت شاهد این تجمع عناصر غذایی است. پرواریندی‌ها و مرغداری‌ها «کاخانه‌ها» عظیم تولید گوشت دام و طیور، کوه‌ها کود دامی تولید می‌کنند که برای جلوگیری از تمرکز ناخواسته مواد شیمیایی در زیست‌محیط، و گسترش عوامل بیماری‌زا، که برای بشریت و سایر حیوانات مضرند باید دفع گردند (بخش ۵-۱۶).

در این فصل توجه خود را به مواد شیمیایی که سبب آلودگی و تخریب خاک‌ها، و همچنین بعضی مواد دیگر که خسارت آنها به آب، هوا و مواد زنده گسترش می‌یابد، معطوف می‌داریم و یک مرور مختصر بر آلودگی خاک، به عنوان مقدمه‌ای بر سرشت آلاینده‌های عمده، واکنش آنها در خاک، و گزینه‌هایی برای مدیریت، نابودی و یا غیرفعال کردن آنها به عمل آمده است.

۱۸-۱ مواد شیمیایی آلی سمی

جوامع صنعتی نوین هزاران ترکیب آلی مصنوعی برای هزاران استفاده تولید کرده‌اند. مقدار عظیمی از مواد شیمیایی آلی سالانه تولید می‌شود، که فقط حدود ۶۰ میلیون تن آن تنها در آمریکا است. این مواد شامل پلاستیک‌ها، مواد مورد مصرف پلاستیک، مواد لیزکننده^۱، روغن‌های ماشین‌آلات^۲، سوخت‌ها، حلال‌ها، آفت‌کش‌ها و مواد نگاهدارنده^۳ می‌باشند. بعضی از این مواد برای انسان و سایر شکل‌های دیگر حیات سمی هستند. از طریق نشت تصادفی و یا سرریز کردن، و یا از طریق افشاندن و سایر تیمارها، مواد شیمیایی آلی مصنوعی در واقع می‌توانند در هر گوشه‌ای از محیط‌زیست ما، در خاک در آب زیرزمینی، در نباتات و در بدن خود ما پیدا شوند.

^۱ - Lubricants

^۲ - Refrigerants

^۳ - Preservatives

زیان‌های زیست‌محیطی حاصل از مواد شیمیایی آلی

بعضی از این ترکیبات آلی بدون اثر و بی‌خطر، اما بقیه حتی در مقادیر اندک از نظر زیستی خسارت‌بار می‌باشند. آن‌هایی که راه خود را در خاک پیدا می‌کنند، ممکن است سبب توقف رشد و یا مرگ موجودات خاک گردند، بنابراین، سبب به‌هم‌زدن تداخل مجموعه‌ی جانداران خاک می‌شوند (بخش ۱۵-۱۱ را مشاهده کنید) سایر مواد شیمیایی ممکن است از خاک به هوا، آب، و یا پوشش گیاهی انتقال یابند که در آن‌جا به‌وسیله‌ی تعدادی از جانداران مورد تماس، تنفس و یا هضم قرار گیرند. بنابراین، مدیریت آزادشدن مواد شیمیایی آلی و شناخت سرنوشت آن‌ها به‌محض ورود به خاک الزامی است.

ممکن است مواد آلی شیمیایی به‌صورت آلاینده‌ها در ضایعات صنعتی و شهری که در خاک مصرف شده و یا بر روی خاک ریخته می‌شوند، به‌عنوان اجزای ماشین‌آلات دورریخته، در نشت‌های بزرگ و کوچک سوخت‌ها و گریس‌ها و آفت‌کش‌های مصرف شده در بوم‌سامان‌های زمینی وارد خاک گردند.

وقتی در نظر است آفت‌کشی مصرف گردد، اکثر آن داخل خاک می‌شود. زیرا حشره و یا برگ‌ی را که هدف استعمال آن بوده است مورد اصابت قرار نداده است. وقتی آفت‌کشی در مزرعه مصرف می‌شود، اکثر مواد شیمیایی موجود مورد نظر را از دست می‌دهد. برای آفت‌کش‌هایی که به‌صورت هوایی در جنگل‌ها مصرف می‌شوند، حدود ۲۵ درصد به پوشش برگ‌ی رسیده، و بسیار کمتر از ۱ درصد به حشره مورد هدف می‌رسد. ممکن است حدود ۳۰ درصد به خاک برسد درحالی‌که حدود نصف مواد شیمیایی مصرف شده احتمالاً در نیوار یا رواناب از دست می‌رود.

آفت‌کش‌ها احتمالاً گسترده‌ترین آلاینده‌های شیمیایی همراه با خاک می‌باشند. در آمریکا، آفت‌کش‌ها در ۱۵۰ میلیون هکتار از اراضی، که ۴/۳ آن‌ها اراضی کشاورزی است، مصرف می‌شوند آلاینش خاک به‌وسیله‌ی سایر مواد شیمیایی آلی بسیار موضعی است، بنابراین، ما مسأله آفت‌کش‌ها را مورد تأکید قرار می‌دهیم.

سرنوشت آفت‌کش‌ها

آفت‌کش‌ها مواد شیمیایی مورد نظر برای نابودی آفت‌ها (هر جاندار که به‌نظر مصرف‌کننده‌ی آفت‌کش، زیان‌بار است) می‌باشند. از آن‌جا که ممکن است موجود مورد تجاوز نبات (علف‌هرز، حشره، قارچ، نماتد و یا موش صحرایی باشد، آفت‌کش‌ها دارای ترکیبات مختلفی تحت عنوان علف‌کش^۱، حشره‌کش^۲، قارچ‌کش^۳، نماتدکش^۴، جوئنده‌کش^۵ و غیره می‌باشند.

حدود ۶۰۰ نوع ماده شیمیایی در ۵۰۰۰۰ نوع ترکیب شیمیایی برای مبارزه با آفت‌ها مورد استفاده قرار گرفته، و به‌طور وسیعی در تمام بخش‌های جهان مصرف شده‌اند. حدود ۳۵۰۰۰۰ تن از آفت‌کش‌های شیمیایی سالانه در آمریکا مصرف شده، و مقادیر مشابهی نیز در اروپای غربی و آسیا مصرف می‌گردد. هرچند مقدار کل آفت‌کش‌های مورد استفاده از دهه‌ی ۸۰ ثابت باقی مانده و یا کاهش یافته است. ترکیباتی که امروزه معمولاً مصرف می‌شوند، قوی‌تر بوده، و بنابراین، مقادیر کمتری درهکتار برای ایجاد سمیت در آفت مصرف می‌شود.

منافع آفت‌کش‌ها: آفت‌کش‌ها منافع زیادی را برای جامعه به‌بار می‌آورد آن‌ها به مهار پشه‌ها و سایر ناقلین بیماری‌های انسانی مانند تب‌زرد و مالاریا کمک کرده‌اند. آن‌ها نباتات و احشام را درمقابل حشرات و امراض محافظت نموده‌اند. بدون مبارزه با علف‌های هرز به‌وسیله‌ی مواد شیمیایی که علف‌کش نامیده می‌شوند، سازگار نمودن خاک‌ورزی حفاظتی (به‌خصوص نظام بدون خاک‌ورزی) بسیار مشکل خواهد بود. بسیاری از پیشرفت‌های به‌دست آمده در حفاظت خاک احتمالاً بدون استفاده از علف‌کش به‌دست نمی‌آمد. به‌علاوه آفت‌کش‌ها سبب کاهش خرابی غذا از هنگام برداشت محصول مزرعه تا رسیدن آن به پای سفره از فواصل دور می‌گردند.

هزینه آفت‌کش‌ها: آفت‌کش‌ها نباید به‌عنوان اکسیر و یا ماده‌ای اجتناب‌ناپذیر تلقی گردند. بعضی از زارعین عملکردهای سودآوری بدون استفاده از آفت‌کش‌ها کسب می‌کنند. حتی به‌رغم استفاده تقریباً جهانی از آفت‌کش‌ها حشرات، امراض و گیاهان هرز هنوز سبب هدررفت ۱/۲ محصولات زراعی در آمریکا می‌باشند، و این معادل همان نسبت هدررفت محصولات به‌وسیله‌ی آفات در دهه‌ی ۱۹۴۰ قبل از ترویج بسیاری از آفت‌کش‌هاست. درعین‌حال که منافع حاصل از آفت‌کش‌ها برای جامعه زیاد است، هزینه آن‌ها نیز بالا می‌باشد (جدول ۱-۱۸).

^۱ -Herbicides

^۲ -Insecticides

^۳ -Fungicides

^۴ -Nematocides

^۵ -Rodenticides

جدول ۱-۱۸ جمع کل هزینه‌های زیست‌محیطی و اجتماعی استفاده از علف‌کش‌ها در ایالات متحده آمریکا: مرگ حدود ۶۰ میلیون قطعه پرنده بیانگر هزینه‌ی اساسی اضافی ناشی از عواید حاصل از شکارچی‌ها، تماشاکنندگان پرنده و غیره می‌باشد.

نوع اثرات زیست‌محیطی	هزینه بر حسب میلیون دلار در سال
اثرات بر بهداشت عمومی	۷۸۶
مرگ حیوانات اهلی و آلودگی	۳۰
از بین رفتن دشمنان طبیعی	۵۲۰
هزینه مقاومت در مقابل آفت‌کش	۱۴۰۰
از بین رفتن زنبور عسل و گرده‌افشانی	۳۲۰
هدررفت محصول	۹۴۲
هدررفت آبزیان	۲۴
آلودگی آب زیرزمینی و هزینه‌های رفع آلودگی	۱۸۰۰
هزینه‌های مقررات دولتی برای جلوگیری از خسارت	۲۰۰
جمع	۶۰۲۳

بسیاری از این مواد که برای از بین بردن موجودات زنده طراحی شده‌اند دارای توان نابودی سایر موجودات به‌غیر از آفت موردنظر می‌باشند. بعضی از آن‌ها برای موجودات غیرموردنظر مانند حشرات مفید و بعضی از موجودات خاک مهلکند. ممکن است مواد شیمیایی که سریع تجزیه نمی‌شوند از نظر زیستی با بالارفتن از زنجیره‌ی غذایی تجمع یابند. برای نمونه، کرم‌های خاکی خاک‌های آلوده را بلعیده و مواد شیمیایی در بدن کرم خاکی متمرکز می‌گردند. وقتی پرندگان و ماهی‌ها کرم‌های خاکی را می‌خورند، آفت‌کش می‌تواند در حد مهلک بودن تمرکز یابد. از بین رفتن نسل پرندگان شکارچی (از جمله عقاب طاس) در طول دهه‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ سبب هشدار دادن به عامه برای پیامدهای مخرب زیست‌محیطی مصرف آفت‌کش در بعضی موارد گردید. به‌تازگی شواهد و دلایل حاکی از این است که هورمن اندوکراین در انسان ممکن است در اثر مقادیر کوچکی از آفت‌کش‌ها که در آب، هوا و غذا یافت می‌شوند، از تعادل خارج شود.

۱۸-۲ انواع آفت‌کش‌ها

آفت‌کش‌ها معمولاً برحسب گروه‌های آفت موردنظر به: (۱) حشره‌کش‌ها، (۲) قارچ‌کش‌ها، (۳) علف‌کش‌ها، (۴) جوندہ‌کش‌ها، و (۵) نماتدکش‌ها تقسیم می‌شوند. در عمل، همگی راه خود را در داخل خاک باز خواهند یافت. از آن‌جا که ۳ نوع اول به مقدار زیادی مصرف می‌شوند، احتمال آلودگی خاک‌ها به‌وسیله‌ی آن‌ها بنابراین، زیاد است، آن‌ها اول مورد ملاحظه قرار خواهند گرفت. شکل ۱-۱۸ نشان می‌دهد که اکثر آفت‌کش‌ها دارای نوعی ترکیبات حلقوی معطر بوده اما از نظر ساختار شیمیایی بسیار متفاوت می‌باشند.

حشره‌کش‌ها

اکثر این مواد شیمیایی در سه گروه کلی قرار می‌گیرند. هیدروکربن‌های^۱ کلردار مانند DDT، که تا اوایل دهه ۱۹۷۰ در بیشترین مقدار مورد استفاده بودند، از آن تاریخ به بعد مصرف آن‌ها به‌خاطر تجزیه‌پذیری زیستی اندک و پایداری، و همچنین سمیت آن‌ها برای پرندگان و ماهی‌ها در بسیاری از کشورها ممنوع و یا بسیار محدود گردید.

آفت‌کش‌های فسفات^۲ آلی معمولاً دارای قابلیت تجزیه‌ی زیستی بوده، و بنابراین، تجمع آن‌ها در خاک و آب کمتر محتمل است. هرچند، آن‌ها برای انسان‌ها شدیداً سمی می‌باشند، بنابراین، بایستی دقت بسیار زیادی در استفاده و کاربرد آن‌ها به‌عمل آید. کربامات‌ها^۳ به‌خاطر قابلیت تجزیه‌ی زیستی آسان خود دارای کمترین خطر به‌خصوص برای پستانداران می‌باشند. هرچند برای زنبورها و سایر حشرات مفید و برای کرم‌های خاکی بسیار مضر می‌باشند.

^۱-Chlorinated hydrocarbons

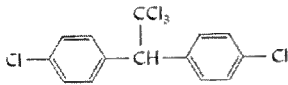
^۲-Organophosphate

^۳-Carbamates

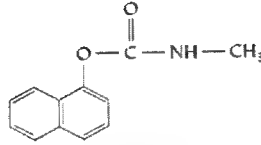
فارچ کش‌ها

فارچ کش‌ها معمولاً برای مبارزه با امراض میوه‌ها و سبزی‌ها و به‌صورت پوشش بذر برای جلوگیری از پوسیدن بذور مورد استفاده می‌باشند. بعضی دیگر نیز همچنین برای محافظت میوه‌ها و سبزی‌های برداشت‌شده در برابر فساد، جلوگیری از پوسیدگی چوب و حفظ لباس‌ها از کفک‌زدن مورد استفاده قرار می‌گیرند. مواد آلی مانند تیوکاربامات‌ها و تریازول در حال حاضر مورد استفاده‌اند.

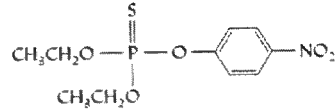
Insecticides



(DDT)
Chlorinated hydrocarbons

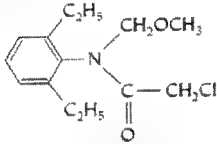


(Carbaryl)
Carbamates

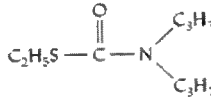


(Parathion)
Organophosphates

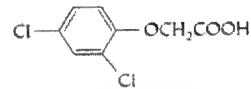
Herbicides



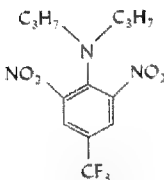
(Alachlor)
Acetanilides



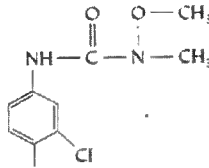
(EPTC)
Carbamothioates



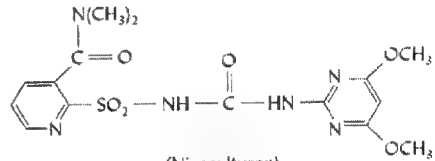
(2,4-D)
Phenoxyalkanoic acids



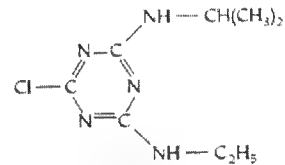
(Trifluralin)
Dinitroanilines



(Linuron)
Substituted ureas



(Nicosulfuron)
Sulfonylureas



(Atrazine)
Triazines

شکل ۱۸-۱ فرمول ساختاری ترکیبات مشخص در ۱۰ کلاس آفت‌کش دارای مصرف گسترده. کاربaryl، ددت و پاراتیون حشره‌کش بوده، سایر ترکیبات نشان داده شده علف‌کش می‌باشند. ساختارهای بسیار متفاوت سبب خصوصیات بسیار متنوع سم‌شناسی و واکنش در خاک می‌شوند.

علف‌کش‌ها

مقدار علف‌کش‌های مورد مصرف در آمریکا از مجموع دو نوع آفت‌کش دیگر بیشتر است از به‌دو استفاده از 2,4-D (فنکسی الکانونیک اسید، کلردار^۱)، ده‌ها مواد شیمیایی دیگر تحت صدها فرمول به‌بازار آمده‌اند (شکل ۱۸-۱ را مشاهده کنید). این مواد شامل تریازین که عمدتاً برای مهار هرز ذرت مصرف می‌شود، اوره‌آز جایگزین شده (لینرون^۲)، بعضی کریاماتوتیوات، ترکیب نسبتاً جدید سولفونی اوره‌آز^۳ که در مقادیر خیلی کم نیز مؤثر می‌باشند، دی‌نیتروانیلین^۴ و استانیلید^۵ است که ثابت شده‌است در محیط کاملاً متحرک می‌باشند. باید قبول کرد که

^۱ -Chlorinated Phenoxyalkanoic acid

^۲ - (Linuron) Substituted Ureas

^۳ -Sulfonylureas

^۴ -Dinitroaniline

^۵ -Acetanilides

این تغییرات گسترده در ترکیب شیمیایی سبب تغییرات گسترده‌ی مشابهی در خصوصیات آن‌ها می‌شود. بیشتر علف‌کش‌ها قابل تجزیه‌ی زیستی بوده و اکثر آن‌ها دارای سمیت نسبتاً پایین برای پستانداران می‌باشند. هرچند، بعضی برای ماهی‌ها و احتمالاً سایر وحوش نیز کاملاً سمی هستند. آن‌ها همچنین می‌توانند اثرات مخربی بر گیاهان آبی مفید، که غذا و زیستگاه برای ماهیان و صدف‌ها فراهم می‌کنند، داشته باشند.

نماتدکش‌ها

هرچند نماتدکش‌ها به‌طور گسترده مورد استفاده قرار نمی‌گیرند، بعضی از آن‌ها به‌خاطر ایجاد آلودگی در خاک و زهاب حاصل از این خاک‌ها مشهور می‌باشند برای نمونه بعضی از کاربامات‌های مورد استفاده به‌عنوان نماتدکش در آب کاملاً محلول بوده و جذب خاک نمی‌شوند و بنابراین، در معرض آبشویی، فرونشست و وارد شدن به آب‌های زیرزمینی قرار می‌گیرند.

۳-۱۸ رفتار مواد شیمیایی آلی در خاک

به محض رسیدن مواد شیمیایی آلی مانند آفت‌کش‌ها و یا هیدروکربن‌ها به خاک، ممکن است در یک و یا چند مسیر از هفت مسیر زیر قرار می‌گیرند (شکل ۲-۱۸): (۱) بدون تغییر شیمیایی به‌داخل نیوار تبخیر گردند، (۲) به‌وسیله‌ی خاک‌ها جذب شوند، (۳) به‌طرف پایین در داخل خاک به‌صورت مایع و یا در شکل محلول حرکت نموده و از طریق آبشویی از دسترس خارج شوند، (۴) در داخل و یا سطح خاک وارد واکنش‌های شیمیایی شوند، (۵) به‌وسیله‌ی ریزجانداران خاک مورد تجزیه قرار گیرند، (۶) به‌داخل رودها و یا نهرها به‌وسیله‌ی رواناب وارد گردند، و (۷) به‌وسیله‌ی گیاهان و یا جانوران خاک جذب شده و به قسمت‌های بالایی زنجیره‌ی غذایی حرکت کنند. سرنوشت خاص این مواد شیمیایی حداقل تا حدی به‌وسیله‌ی ساختمان شیمیایی آن‌ها که بسیار متغیر است تعیین می‌گردد.

بخار شدن^۱

مواد شیمیایی در رابطه با بخار شدن و در نتیجه حساسیت به هدررفت در نیوار بسیار متفاوتند. بعضی از مواد ضد عفونی‌کننده سدخینی^۲ مانند متیل برومید^۳ (اکنون برای استفاده ممنوع گردیده) به‌خاطر فشار بخار بسیار بالا که امکان نفوذ و انتشار آن‌ها را در داخل منافذ خاک برای تماس با ریزجانداران فراهم می‌کند، انتخاب می‌گردند. این خاصیت، هدررفت سریع آن‌ها را در نیوار پس از مصرف آن‌ها در خاک تقویت می‌کند مگر آن‌که خاک پوشش یافته و یا عایق‌اندود گردد. تعداد اندکی از علف‌کش‌ها (مانند تریفلورالین^۴ و قسارچ‌کش‌ها (مانند PCNB) چنان فرارند که بخار شدن فرایند اصلی هدررفت آن‌ها در خاک است. بخش بیشتر نفت خام (گازوئیل و بنزین، و بسیاری از حلال‌ها وقتی بر روی خاک ریخته می‌شوند، به مقدار زیادی تبخیر می‌شوند.

این فرضیات که عدم مشاهده‌ی آفت‌کش‌ها در خاک دلیل بر تجزیه آن‌ها می‌باشد سوال‌برانگیز است. اکنون مشخص شده است که بعضی از مواد شیمیایی از طریق بخار شدن به نیوار انتقال یافته و از طریق بارندگی به خاک و آب‌های سطحی باز می‌گردند.

جذب سطحی

جذب مواد شیمیایی به‌وسیله‌ی خاک عمدتاً در ارتباط با خصوصیات آفت‌کش‌ها و خاکی که به آن افزوده شوند، می‌باشد. مواد آلی خاک و رس‌های دارای سطح مخصوص زیاد تمایل دارند که قوی‌ترین جذب‌کننده‌ی بعضی از ترکیبات باشند (شکل ۳-۱۸)، درحالی‌که پوشش اکسیدی بر روی ذرات خاک سبب جذب شدید سایر ترکیبات می‌شود. حضور گروه‌های عامل به‌خصوص، مانند، COOR ، CONH_2 ، NHR ، OH ، NH_2 و NR_3 در ساختمان شیمیایی آفت‌کش‌ها جذب آن‌ها را به‌ویژه در روی هموس خاک تسریع می‌کند. پیوند هیدروژن (بخش ۱-۵ و ۵-۸ را مشاهده کنید) و اضافه‌شدن پروتون [اضافه‌کردن H^+ به گروه عامل مانند $(\text{NH}_2)^-$] احتمالاً سبب ارتقای جذب سطحی می‌شود. در شرایط یکسان، هرچه مولکول آلی بزرگ‌تر و مقدار محل‌های بار بیشتر باشد جذب سطحی شدیدتر است. بعضی مواد آلی با گروه‌های مثبت بار مانند علف‌کش‌های دی‌کوات^۵ و پاراکوات^۶ به‌وسیله‌ی کانی‌های رسی سیلیکاتی شدیدتر جذب می‌شوند، جذب بعضی از علف‌کش‌ها به‌وسیله‌ی رس احتمالاً وابسته به pH می‌باشد (شکل ۴-۱۸)، حداکثر جذب در pH پایین است که

^۱ -Volatility

^۲ -Fumigants

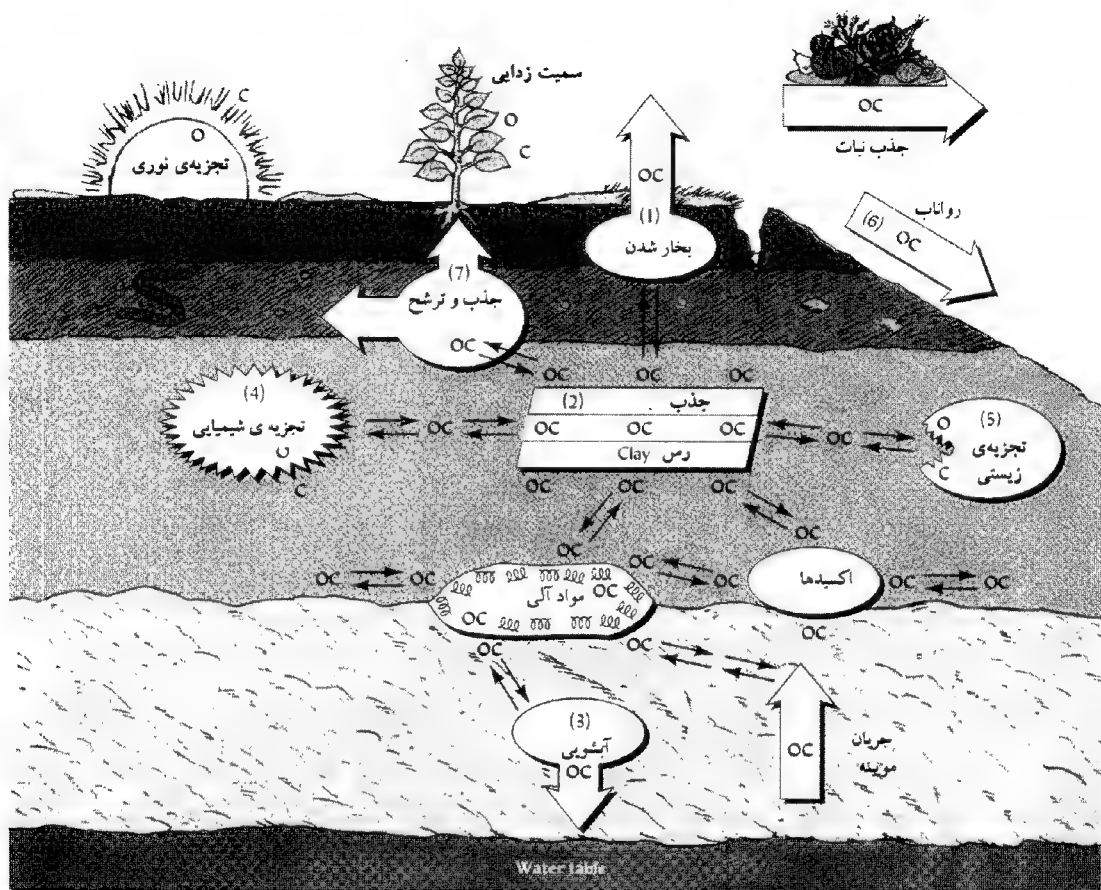
^۳ -Methyl bromide

^۴ -Tryfluralin

^۵ -Diquat

^۶ -Paraquat

پروتونی شدن را تقویت می‌کند. اضافه کردن H^+ به گروه‌های عامل (برای مثال $-NH_2$) سبب ایجاد بار مثبت بر روی علف‌کش گشته و سبب جذب هرچه بیشتر آن‌ها بر روی کلوئیدهای خاک با بارهای منفی می‌شود.



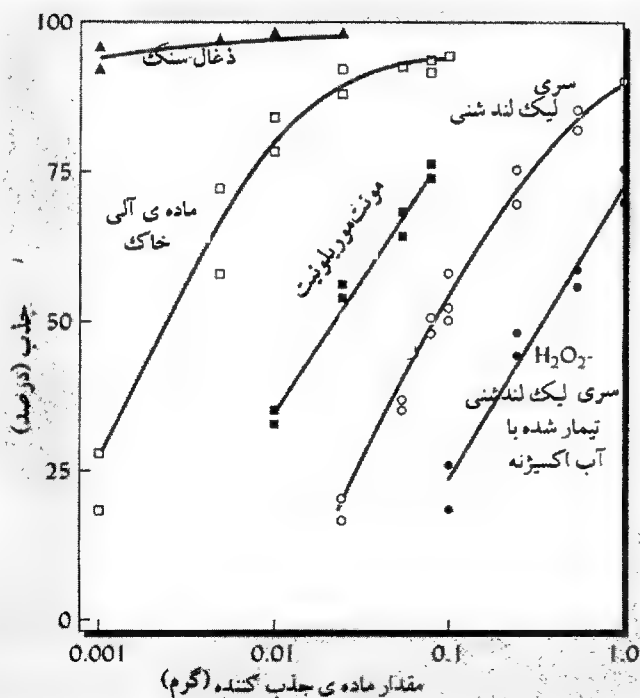
شکل ۱۸-۲ فرایندهای مؤثر در ازبین‌رفتن مواد آلی شیمیایی (OC) در خاک‌ها. توجه کنید که علامت OC برآثر تجزیه (به‌وسیله نور و واکنش شیمیایی) و تخریب به‌وسیله ریزجانداران تفکیک می‌گردد، و این بدان معنی است که این فرایندها سبب تغییر و نابودی ماده‌ی آلی شیمیایی می‌شوند. در فرایند انتقال OC دست‌نخورده باقی می‌ماند.

آبشویی و رواناب

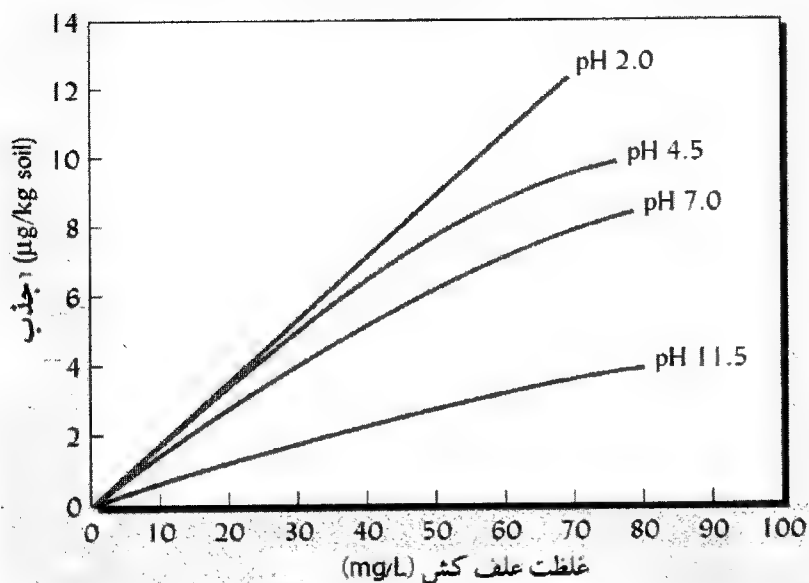
تعمایل مواد شیمیایی آلی برای آبشویی از خاک‌ها در ارتباط نزدیک با قابلیت انحلال آن‌ها در آب و توان آن‌ها برای جذب است. بعضی ترکیبات مانند کلروفرم و فنوکسی‌استیک اسید^۱ یک میلیون بار از دیگر ترکیبات مانند DDT و PCB (که در روغن کاملاً محلولند) در آب محلول‌ترند. محلولیت بیشتر در آب با هدررفت هم‌خوانی دارد.

احتمال حرکت مولکول‌هایی که شدیداً جذب خاک شده‌اند، از خاک‌رخ به پایین بسیار ضعیف است (جدول ۲-۱۸). به‌همین ترتیب، شرایطی که سبب تقویت این جذب می‌شود، باعث حذف آبشویی می‌گردد. آبشویی شدید با میزان حرکت آب هماهنگ است، بزرگ‌ترین خطر آبشویی در خاک‌های شنی، که دارای بالاترین نفوذپذیری کمترین و مقدار ماده‌ی آلی می‌باشند، صورت می‌گیرد. دوره‌های دارای بارندگی شدید هماهنگ با زمان مصرف مواد شیمیایی سبب بالارفتن هدررفت ناشی از آبشویی و رواناب می‌شود (جدول ۳-۱۸). به‌جز چند استثناء قابل توجه، به‌نظر می‌رسد که علف‌کش‌ها از اکثر قارچ‌کش‌ها و یا حشره‌کش‌ها، حرکت بیشتری داشته باشند، و بنابراین، با احتمال بیشتر راه خود را در منابع تأمین آب و رودها باز خواهند یافت (شکل ۵-۱۸).

^۱ -Phenoxyacetic acid



شکل ۳-۱۸ جذب بی‌فنیل پلی‌کلسره، (PCB^1) به‌وسیله‌ی مواد مختلف خاکی. سری لیک‌لند شنی (تیک کوارتزی پسامنت^۲) اکثر ظرفیت جذب خود را هنگام مصرف هیدروژن پراکسید (H_2O_2) برای حذف ماده‌ی آلی آن از دست می‌دهد. مقدار مواد خاکی مورد نیاز برای جذب ۵۰ درصد PCB در مورد رس مونته‌وریلونیت (کانی رسی ۲:۱) ۱۰ برابر میزان ماده‌ی آلی خاک بود، و در سری لیک‌لند شنی عمل آمده با آب اکسیژنه (H_2O_2) ۱۰ برابر مونته‌وریلونیت بود. آزمایش‌های بعدی نشان دادند که وقتی PCB جذب گردید، دیگر برای جذب به‌وسیله‌ی نیات قابل استفاده نبود. توجه داشته باشید که مقدار مواد خاکی اضافه‌شده در مقیاس لگاریتمی می‌باشد.



شکل ۴-۱۸ اثر pH کانولینیت بر روی جذب گلی‌فسفات^۳، یک علف‌کش بسیار پر مصرف با نام تجاری راندآپ^۴

¹-Polychlorinated biphenyl

²-Lakeland sand (Typic Quartzipsamments)

³-Glyphosphate

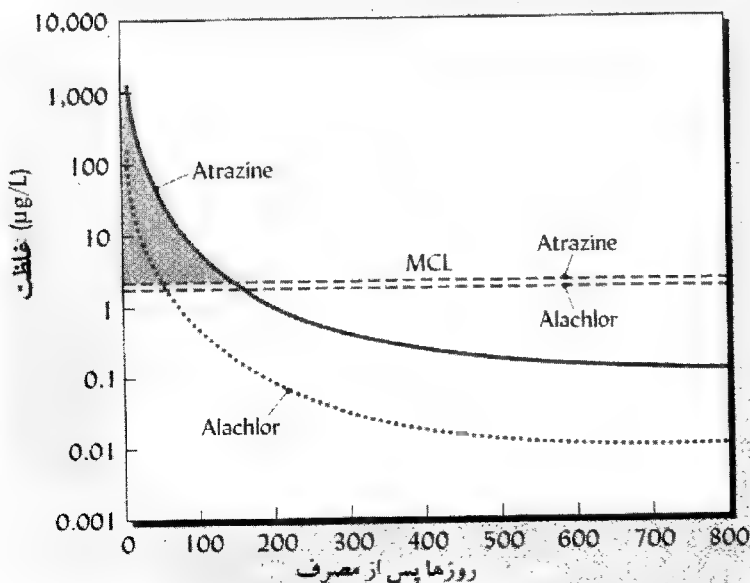
⁴-Roundup

جدول ۲-۱۸ میزان جذب بعضی علف‌کش‌ها. علف‌کش‌ها با جذب ضعیف به حرکت در خاک بسیار حساس تر از انواع شدیداً جذب شده می‌باشند.

قدرت جذب			قدرت جذب		
نام معمول و یا فرمول	نام تجاری	به‌وسیله‌ی کلویدهای خاک	نام معمول و یا فرمول	نام تجاری	به‌وسیله‌ی کلویدهای خاک
اترازین Atrazine	A Atrex	فوی	دلاپون (Dalapon)	Dowpon	ندارد
آلاکلر Alachlor	Lasso	فوی	کلرامبن Chloramben	Amiben	ضعیف
ای‌پی‌تی‌سی EPTC	Eptam	فوی	بنتازون Bentazon	Bsagran	ضعیف
دیورون Diuron	Karmex	فوی	تو فور دی 4-D و 2	متعدد	متوسط
پاراکوات Paraquat	Paraquat	خیلی فوی	پروپاکلر Propachlor	Ramrod	متوسط
تریفلورالین Trifluralin	Treflan	خیلی فوی			
دی‌سی‌پی‌آ DCPA	Dacthal	خیلی فوی			

جدول ۳-۱۸ هدررفت رواناب سطحی و آبشویی (از داخل لوله‌های زه‌کشی) علف‌کش اترازین از خاک لوم رسی دریاچه‌ای (الفی سول)^۱ در ایالت انتاریو کانادا. علف‌کش به مقدار ۱۷۰۰ گرم در هکتار در آخر ماه می مصرف گردید. داده‌ها معدل سه روش خاک‌ورزی است. توجه کنید که بارندگی برای ماه می و ژوئن با مقدار علف‌کش اترازین رفته در هر دومسیر ارتباط دارد.

هدررفت اترازین، گرم در هکتار						
سال مطالعه	رواناب	زه‌اب	مجموع محلول	درصد کل مصرف شده	بارندگی می-ژوئن میلی‌متر	
۱	۱۸	۹	۲۷	۱/۶	۱۷۰	
۲	۱	۲	۳	۰/۲	۳۰	
۳	۵۱	۶۱	۱۱۳	۶/۶	۲۵۵	
۴	۱۳	۳۲	۴۵	۲/۶	۱۶۵	



شکل ۵-۱۸ غلظت دو علف‌کش بسیار پرمصرف اترازین و آلاکلر در رواناب حاصل از حوزه‌های آبخیز در ایالت اوهایو که تحت کشت ذرت می‌باشد، همراه با حداکثر آلودگی مجاز (MCL)^۲ برای آب آشامیدنی توجه کنید که غلظت بسیار فراتر از MCL به خصوص در مورد اترازین در ۵۰ تا ۱۰۰ روز بعد از مصرف می‌باشد. اگر این رواناب با آب دارای آلودگی کمتر رقیق نشود برای مصارف خانگی پایین‌دست مناسب نخواهد بود.

^۱ -Lacustrine clayloam (Alfisols)

^۲ -Maximum Contamination Level

آلایش آب زیرزمینی

متخصصین زمانی بیان می‌داشتند که آلایش آب زیرزمینی فقط در صورت حوادثی مانند سرریز و نشت آفت‌کش‌ها صورت می‌پذیرد اما حال مشخص شده است که بسیاری از آفت‌کش‌های مورد مصرف عادی در کشاورزی به آب زیرزمینی می‌رسند. از آن‌جاکه بسیاری از مردم (۴۰ درصد آمریکایی‌ها) برای مصارف شرب وابسته به آب زیرزمینی هستند، آیشویی آفت‌کش‌ها بسیار مورد توجه است. جدول ۴-۱۸ حدود ۴۶ آفت‌کش را که طی یک مطالعه ملی در آب‌چاه‌ها در آمریکا یافت شده‌اند، مشخص می‌سازد. غلظت‌ها برحسب قسمت در بیلیون است (تابلو ۱-۱۸ را مشاهده کنید). در بعضی موارد مقدار آفت‌کش موجود در آب آشامیدنی چنان بالاست که مسایل بهداشتی را در درازمدت مطرح می‌کند.

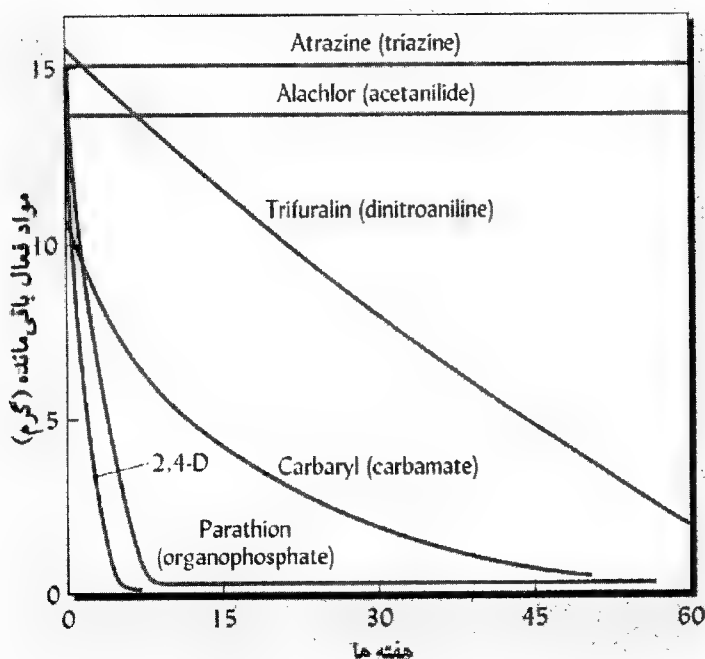
واکنش‌های شیمیایی

بعضی از آفت‌کش‌ها به محض تماس با خاک، مستقل از جانداران خاک دچار تغییرات شیمیایی می‌شوند. برای مثال ترکیبات سیانید آهن در صورت مواجهه با نور شدید آفتاب طی چندساعت و یا چندروز تجزیه می‌شوند. DDT، دی‌کوات و تریازین در نور آفتاب دارای تجزیه نوری کند می‌باشند. علف‌کش‌های تریازین (برای نمونه، اترازین) و حشره‌کش‌های ارگانوفسفات (مانند مالاتیون) در معرض آب‌کافت قرار گرفته و سپس در خاک تخریب می‌شوند. ترکیب پیچیده‌ی ساختمان مولکولی آفت‌کش‌ها سازوکارهای متفاوتی را برای تجزیه مطرح می‌کند. مهم این است که دریابیم تجزیه‌ی آفت‌کش‌ها مستقل از ریزجانداران در واقع صورت می‌پذیرد.

سوخت و ساز میکروبی

تجزیه‌ی زیست‌شیمیایی به‌وسیله‌ی ریزجانداران خاک تنها روش مهمی است که در آن آفت‌کش‌ها از خاک خارج می‌شوند. گروه‌های قطبی خاص مانند OH ، COOH و NH_2 -نقاطی را برای حمله‌ی ریزجانداران خاک فراهم می‌آورند.

DDT و سایر هیدروکربن‌های کلردار مانند آلدین، دی‌آلدین و هپتاکلر با آهستگی بسیار در اکثر خاک‌ها تجزیه شده و به‌مدت بیشتر از ۲۰ سال در خاک باقی می‌مانند. برعکس حشره‌کش‌های فسفوارگانیک مانند پاراتیون با سرعت زیادی به‌وسیله‌ی انواع ریزجانداران تجزیه می‌شوند (شکل ۶-۱۸). به‌همین ترتیب علف‌کش‌های دارای مصرف زیاد مانند ۲، ۴-D، فیل‌اوراز، اسیدهای چرب و کاربامات‌ها به‌وسیله‌ی ریزجانداران خاک به‌سرعت تجزیه می‌شوند. تریازین در این بین استثنا بوده، و عمدتاً با آهستگی به‌وسیله‌ی تجزیه‌ی شیمیایی تخریب می‌شوند. اکثر قارچ‌کش‌های آلی نیز در معرض تجزیه‌ی میکروبی قرار می‌گیرند، گرچه میزان تجزیه در بعضی از آن‌ها کند بوده و پس‌مانده‌های آن‌ها مشکل‌ساز خواهند بود.



شکل ۶-۱۸ تجزیه‌ی ۴ علف‌کش (آلاکلر، اترازین، ۲، ۴-D، trifluralin) و دو حشره‌کش (پاراتیون و کارباریل)، که همه آن‌ها در نیمه غرب میانی آمریکا به‌طور گسترده مورد استفاده می‌باشند توجه کنید که اترازین و آلاکلر با کندی بسیار تجزیه می‌شوند، درحالی‌که پاراتیون و ۲، ۴-D به‌سرعت تجزیه می‌شوند.

تابلو ۱۸-۱ غلظت و سمیت مواد آلاینده در محیط زیست

با کامل شدن تجهیزات آزمایشگاهی، مواد آلوده کننده می‌توانند در غلظت‌های بسیار کمتری از آنچه در سابق معمول بود مورد ردیابی و اندازه‌گیری قرار گیرند از آنجاکه انسان و سایر موجودات می‌توانند تقریباً به‌وسیله‌ی هر چیزی که در مقادیر زیاد وجود داشته باشند دچار صدماتی گردند، مسایل سمیت و آلودگی باید به‌طور کمی مورد توجه قرار گیرند. و پرسش ما باید چه مقدار در محیط‌زیست می‌باشد، نه کدام ماده در محیط‌زیست. بسیاری از ترکیبات خیلی سمی (که در مقادیر خیلی اندک خطرناکند) به‌وسیله‌ی فرایندهای طبیعی تولید گردیده و می‌توانند در هوا، خاک و آب کاملاً جدا از هر فعالیت انسانی اندازه‌گیری شوند.

تنها حضور یک سم طبیعی و یا یک آلاینده مصنوعی ممکن است مسئله‌ساز نباشد. سمیت در ارتباط با (۱) غلظت آلاینده، و (۲) میزان در معرض قرار گرفتن جاندار است. بنابراین، غلظت پایین مواد شیمیایی خاص، که اثرات قابل مشاهده‌ای در یک‌بار مواجهه نداشته باشند (برای مثال یک لیوان آب‌خوری) ممکن است خسارات و صدماتی (سرطان و نارسایی‌های مادرزادی) را در افرادی که در معرض این غلظت‌ها در درازمدت قرار گیرند (مثلاً سه لیوان آب‌خوری در روز و برای سالیان متوالی) سبب گردد.

سازمان‌های تصمیم گیرنده تلاش می‌کنند تا اثرات طولانی‌مدت مواجهه‌شدن با مواد را وقتی معیارهایی برای مقادیر غیرقابل مشاهده (NOEL)^۱ و یا میزان مشورتی^۲ ارائه می‌دهند پیش‌بینی کنند. بعضی از گونه‌ها و افراد داخل یک گونه درمقایسه با دیگران به ماده شیمیایی موردنظر بسیار حساس‌ترند. واضعین مقررات تلاش می‌کنند احتمال وجود خطر را برای حساس‌ترین فرد در هر مورد خاص مورد ملاحظه قرار دهند. برای نثرات در آب زیرزمینی این فرد ممکن است نوزاد انسان باشد که جیره غذایی او با آب آلوده تهیه می‌شود. برای DDT، فردی که در معرض بیشترین خطر می‌باشد پرنده‌ای است که از ماهی تغذیه‌کننده‌ی کرم بلع‌کننده رسوبات آلوده به DDT استفاده می‌کند. درمورد آفت کش جذب‌شده به‌وسیله‌ی نبات فردی که در معرض بیشترین خطر است یک باغبان حریص است که از میوه‌ها و سبزی‌ها یک باغ سم‌پاشی شده در طول حیات خود بهره می‌برد.

درک مقادیر خیلی کوچک برای بیان غلظت آلاینده‌ها در محیط زیست مهم است. برای مثال، در جدول ۴-۱۸ غلظت‌ها برحسب قسمت در بیلیون داده شده است (PPb) و این معادل میکروگرم در کیلوگرم $\mu\text{g}/\text{kg}$ است. در آب این مقدار برحسب $\mu\text{g}/\text{L}$ می‌باشد. برای نجسم، یک بیلیون توپ گلف درنظر بگیرید که اگر به‌صورت رشته درآیند به‌طور کامل کروی زمین را دور خواهند زد. یک توپ خراب در میان این یک بیلیون (1ppb) یک مقدار کوچک به‌نظر می‌رسد. از طرف دیگر 1ppb می‌تواند عدد بزرگی باشد. فرض کنید آب با 1PPb سیانید آلوده شده باشد، ماده‌ای بسیار سمی که از پیوند یک اتم کربن با یک اتم نیتروژن تشکیل شده است. اگر شما فقط یک قطره از این آب آلوده را بنوشید ۲ هزار بیلیون (۲تریلیون) از مولکول‌های سیانید را گوارش کرده‌اید.

$$\frac{6.023 \times 10^{23} \text{ مولکول}}{1 \text{ مول}} \times \frac{1 \text{ مول}}{17 \text{ g HCN}} \times \frac{1 \text{ g HCN}}{10^6 \mu\text{g HCN}} \times \frac{1 \mu\text{g HCN}}{1 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ L}}{10^6 \text{ cm}^3} \times \frac{1 \text{ cm}^3}{10 \text{ قطره}} = \frac{2 \times 10^{11} \text{ مولکول}}{10 \text{ قطره}}$$

درمورد سیانید، مولکول‌های موجود در این قطره آب احتمالاً اثرات قابل ملاحظه‌ای نداشته باشند، هرچند برای سایر ترکیبات این همه مولکول ممکن است مایه انجام جهش در DNA، و یا شروع رشد سلول‌های سرطانی را بچکانند. ارزیابی این خطرات یک امر نامشخص است.

جذب نبات

آفت‌کش‌ها معمولاً به‌وسیله‌ی گیاهان عالی جذب می‌شوند، و این به‌خصوص برای آفت‌کش‌هایی (حشره‌کش‌های سیستمی و اکثر علف‌کش‌ها) که باید برای ایفای نقش خود جذب شوند، صادق است. ممکن است مواد شیمیایی جذب‌شده دست‌نخورده داخل نبات باقی‌مانده و یا تجزیه گردند. بعضی از محصولات تجزیه بی‌ضرر بوده، اما بعضی برای انسان بیشتر از آفت‌کش اولیه جذب نبات شده سمی می‌باشند. وجود بقایای آفت‌کش‌ها، به‌خصوص در قسمت‌های از نبات که به‌وسیله‌ی مردم، چه به‌صورت میوه تازه و سبزی‌ها، و چه به‌صورت غذاهای فراوری شده مصرف می‌گردد بسیار موردتوجه جامعه است. مصرف آفت‌کش‌ها و میزان بقایای آفت‌کش‌ها در غذا برای تضمین سلامتی انسان شدیداً تحت مقررات قانونی است. به‌رغم نگرانی‌های زیاد، شواهد کمی وجود دارد که مقادیر اندک بقایای مجاز

¹ - No observable effect level

² - Health advisory level (HAL)

قانونی در غذا بتواند اثرات زیان‌آوری را بر سلامت جامعه داشته باشد. هرچند آزمایش‌های روزمره به وسیله‌ی سازمان‌های مسوول نشان داده است که حدود ۱ تا ۲ درصد نمونه‌های مورد آزمایش دارای بقایای آفت‌کش بیش از مقادیر مجاز بوده‌اند.

جدول ۴-۱۸ آفت‌کش‌های موجود در آب زیرزمینی ناشی از مصرف عادی آن‌ها در کشاورزی: به دامنه تغییرات خیلی زیاد در میزان غلظت آن‌ها، که برای سلامتی خطرناک است، توجه کنید. تعداد اکثر چاه‌های نمونه‌برداری شده دچار آلودگی نبودند، اما وقتی میزان علف‌کش در آن‌ها قابل ردیابی بود، مقدار آن‌ها در حدود و یا بالای میزان توصیه شده سالم قرار داشت.

میزان قسمت در بیلیون pbb				آفت‌کش
نوع (الف)	میزان میان (ب)	میزان حد اکثر	میزان توصیه (ج) شده سالم	
H	۱	۱۱۳	-	Alachlor آلاکلر
I	۹	۳۱۵	۱۰	Aldicarb آلدیکارب
H	۱	۴۰	۳	Atrazine اترازین
H	۹	۲۲	۹۰	Bromacil بروماسیل
I	۵	۱۷۶	۴۰	Carbofuran کاربوفوران
H	۰/۴	۷	۱۰	Cyanazine سیانازین
H	۱	۵۰	۷۰	2, 4-D (2-4 Dichlorophenoxyacetic acid)
FU	۰/۰۱	۰/۰۲	-	DBCP (د)
H	۱۰۹	۱۰۴۰	۴۰۰۰	DCPA
H				Dinoceb دینوزب (د)
F	۱	۳۷	۷	EDB
I	۰/۱	۰/۹	۱۰	Fonofos فونوفوز
I	۴۲	۵۳	۲۰۰	Malathion مالاتیون
H	۰/۴	۳۲	۱۰۰	Metolachlor متولاکلر
H	۱	۷	۲۰۰	Metribuzin متریبوزین
I	۴	۳۹۵	۲۰۰	Oxamyl اکسامیل
H	۰/۴	۲/۲	۵	Trifluran تریفلوران

الف: H علف‌کش، I حشره‌کش، F فارچ‌کش، Fum مواد تدهیخی.

ب: ۵۰ درصد بالاتر و ۵۰ درصد پایین تر از این مقدار.

ج: HAL غلظتی است که احتمالاً سبب ایجاد مسایل بهداشتی در ۷۰ سال طول ایام زندگی گردد- جای خالی بیانگر عدم تعیین HAL می‌باشد

د: استفاده از این آفت‌کش در آمریکا ممنوع شده است.

دوام در خاک

دوام مواد شیمیایی در خاک حاصل مجموعه واکنش‌ها، جابه‌جایی‌ها، تجزیه‌شدن‌های مؤثر در این مواد است. تفاوت‌های مشخص در دوام آن‌ها اساس تمیز و مشخص کردن آن‌هاست (شکل ۶-۱۸). برای نمونه حشره‌کش‌های اورگانوفسفات ممکن است فقط چند روز در خاک باقی بمانند. علف‌کش بسیار پرمصرف 2, 4-D فقط به مدت ۲ تا ۴ هفته باقی می‌ماند، PCBها و DDT دو سایر هیدروکربن‌های کلردار ممکن است ۳ تا ۲۰ سال، و یا بیشتر در خاک باقی بمانند (جدول ۵-۱۸). دوام سایر آفت‌کش‌ها و سایر مواد آلی شیمیایی بین حدود بیان شده قرار می‌گیرد. اکثر آفت‌کش‌ها چنان به سرعت تجزیه می‌گردند که از تجمع آن‌ها در خاک در صورت مصرف معمول سالانه جلوگیری می‌شود. انواعی که در مقابل تجزیه مقاومند دارای توان بیشتری برای ایجاد خسارات زیست‌محیطی می‌باشند.

مصرف مداوم یک آفت‌کش در همان زمین می‌تواند میزان تجزیه‌ی میکروبی آن آفت‌کش را افزایش دهد. داشتن یک منبع غذایی ثابت به‌طور آشکار امکان تجمع میکروب‌هایی را که مجهز به آنزیم‌های موردنیاز برای تجزیه ترکیبات آلی می‌باشد، فراهم می‌کند. این مطلب در ارتباط با کیفیت زیست محیط یک مزیت به‌شمار آمده و به‌عنوان یک اصل در پاره‌ای موارد برای تمیزکردن محیط از ترکیبات آلی سمی مورد استفاده کاربرد دارد. اما ممکن است تجزیه چنان شدید باشد که سبب کاهش اثر آفت‌کش برای منظور اصلی گردد.

جدول ۵-۱۸ دامنه‌ی معمول پایداری تعدادی از ترکیبات آلی. خطر آلودگی محیط زیست با مواد شیمیایی با بیشترین دوام در بالاترین مقدار است.

پایداری ۱	مواد شیمیایی آلی
۳-۲۰ سال	حشره‌کش‌های هیدروکربنه‌ی کلردار (نمونه DDT، کلردان و دی، آلدین)
۲-۱۰ سال	PCB ها
۱-۲ سال	علف‌کش‌های تریازین (برای نمونه، ترازین و سیمازین)
۲-۱۲ ماه	علف‌کش‌های اسیدپتزوئیک (برای نمونه، آمبین ^۱ و دیکامبا ^۲)
۲-۱۰ ماه	علف‌کش‌های اوره دار (برای نمونه، ونورون ^۳ و دیورون ^۴)
۱-۵ ماه	و نیل کلراید
۱-۵ ماه	علف‌کش‌های فنوکسی (برای نمونه، 2,4-D و 2,4,5-T)
۱-۱۲ هفته	حشره‌کش‌های ارگانوفسفات (برای نمونه، مالاتیون و دیازینون)
۱-۸ هفته	حشره‌کش‌های کاربامات
۲-۸ هفته	علف‌کش‌های کاربامات (برای نمونه، پاربان ^۵ و CIPC)

۴-۱۸ اثرات آفت‌کش‌ها بر جانداران خاک

از آن‌جاکه آفت‌کش‌ها برای کشتن جانداران فرمول‌بندی شده‌اند، تعجب‌آور نخواهد بود که بعضی از این ترکیبات برای جانداران خاص خاک سمی باشند. درضمن، تنوع جمعیت جانداران خاک چنان بزرگ است که به‌استثنای چند مواد تدخینی، اکثر آفت‌کش نمی‌توانند یک طیف گسترده از جانداران خاک را از بین ببرند.

مواد تدخینی

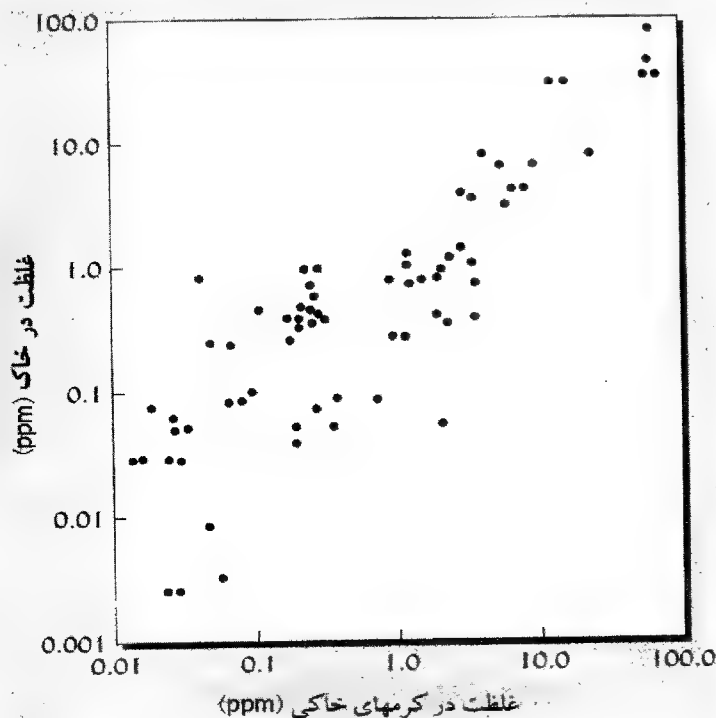
ترکیباتی هستند که برای پاک‌کردن خاک از آفت خاص مانند نماتدها به‌کار می‌روند. این ترکیبات اثرات شدیدتری بر جامعه‌ی گیاهان و جانوران خاک درمقایسه با سایر آفت‌کش‌ها دارند. برای مثال، ۹۹ درصد جمعیت هزارپایان به‌وسیله‌ی مواد تدخینی DD و واپام^۶ ازبین می‌روند، و دو سال طول می‌کشد تا جمعیت دوباره به‌طور کامل به وضع اول برگردد. خوشبختانه، زمان برگشت ریزگی‌های خاک بسیار کمتر است. مواد تدخینی سبب کاهش تعداد گونه‌های گیاهی و جانوری، به‌خصوص در صورت تکرار عمل که در کنترل نماتد معمول است، خواهد شد. درضمن معمولاً تعداد باکتری‌ها بعد از تدخین این مواد از قبل بیشتر است. این افزایش احتمالاً به‌خاطر غیبت نسبی رقبای و شکارچیان به‌دنبال تدخین و میزان کربن و منابع باقی‌مانده انرژی به‌وسیله‌ی جانداران مرده برای استفاده میکروبی می‌باشد.

اثر بر جامعه‌ی جانوری خاک

اثر آفت‌کش‌ها بر روی جانوران خاک از ماده به ماده، و جاندار به جاندار، متفاوتند. نماتدها به‌غیر از مواد تدخینی خاصی معمولاً تحت تأثیر قرار نمی‌گیرند. کته‌ها معمولاً به اکثر ارگانوفسفات‌ها و هیدروکربن‌های کلردار به‌استثنای آلدین، حساسند. دم‌فتری‌ها از نظر حساسیت به اورگانوفسفات‌ها و هیدروکربن‌های کلردار متفاوتند. بعضی از مواد شیمیایی برای این موجودات بسیار سمی می‌باشند.

^۱-Amiben
^۲-Dicamba
^۳-Monuron
^۴-Diuron
^۵-Barban
^۶-Vampam

کرم‌های خاکی: خوشبختانه، بسیاری از آفت‌کش‌ها اثرات جزئی بر کاهش جمعیت کرم‌های خاکی دارند، اما استثنائاتی نیز وجود دارد. در بین حشره‌کش‌ها، اکثر کاربامات‌ها (کاربایل^۱ کاربوفوران^۲ الدیکارب^۳ و غیره) برای کرم‌های خاکی بسیار سمی می‌باشند. در بین علف‌کش‌ها، سیمازین^۴ از اکثر آن‌ها سمی‌تر است. در بین قارچ‌کش‌ها، بنومیل^۵ به‌طور غیرمعمول برای کرم‌های خاکی سمی است. غلظت آفت‌کش‌ها در بدن کرم خاکی در ارتباط نزدیک با مقدار این مواد در خاک می‌باشد (شکل ۷-۱۸). بنابراین، کرم‌های خاکی می‌توانند پرندگان، چونندگان و سایر موجوداتی را که از صید آن‌ها تغذیه می‌کنند، شدیداً در معرض خطرات آفت‌کش قرار دهند. آفت‌کش‌ها دارای اثرات قابل‌توجهی بر تعداد شکارچیان خاص، و درضمن، بر تعداد موجودات موردشکار می‌باشند. برای نمونه ممکن است حشره‌کش‌هایی که تعداد کته‌های شکارچی را کاهش می‌دهند سبب تقویت تعداد دم‌فتری‌ها شوند که به‌عنوان صید کته‌ها عمل می‌کنند (شکل ۸-۱۸). چنین تعامل جانداران در اکثر خاک‌ها معمول است.



شکل ۷-۱۸ اثر غلظت آفت‌کش‌ها در خاک و غلظت آن‌ها در بدن کرم‌های خاکی. پرنده‌گانی که این کرم‌های خاکی را با هر غلظتی از آفت‌کش مصرف می‌کنند سبب بیشتر غلیظ‌شدن آفت‌کش می‌گردند.

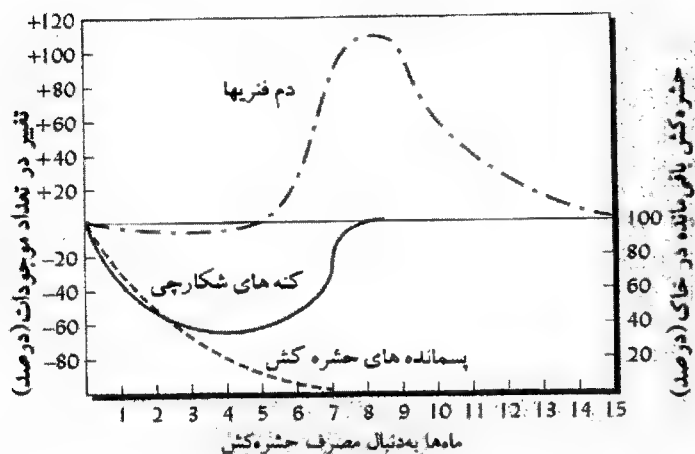
اثر آفت‌کش‌ها بر ریزجانداران خاک

تعداد کل باکتری‌ها در خاک معمولاً چندان به‌شدت به‌وسیله‌ی آفت‌کش‌ها تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد گرچه جانداران مسوول نیتراژی شدن و تثبیت نیتروژن بعضی مواقع به‌طور منفی تحت تأثیر قرار می‌گیرند. حشره‌کش‌ها و قارچ‌کش‌ها در هر دو فرایند فوق‌الذکر از هر آفت‌کش دیگری بیشتر مؤثرند، گرچه بعضی از علف‌کش‌ها نیز می‌توانند تعداد موجوداتی که این دو فرایند را به انجام می‌رسانند، کاهش دهند. شواهد جدید مطرح می‌کنند که بعضی از آفت‌کش‌ها می‌توانند تثبیت زیستی نیتروژن را با کاهش فعالیت تک‌باخته‌گان و سایر جاندارانی که رقیب و یا شکارچی باکتری‌های تثبیت‌کننده‌ی نیتروژن می‌باشند، افزایش دهند. این یافته‌ها پیچیدگی بیشتر حیات را در داخل خاک تشریح می‌کند. قارچ‌کش‌ها، به‌خصوص آن‌ها که به عنوان تدخینی به‌کار می‌روند، می‌توانند اثرات منفی بر قارچ‌ها و اکتینومیست‌های خاک داشته، و بنابراین، تجزیه و تخریب مواد آلی خاک و تشکیل هموس را کند کنند. هرچند مسأله‌ی قابل‌توجه، تشدید فرایند آمونیاسی شدن در اثر مصرف آفت‌کش است.

^۱-Carbaryl
^۲-Carbofuran
^۳-Aldicarb
^۴-Simazine
^۵-Benomyl

اثر منفی اکثر آفت‌کش‌ها بر ریزجانداران خاک موقتی بوده و بعد از چند روز و یا چند هفته معمولاً باز سازی می‌شود. اما استنادهای موجود دال بر حفظ جوانب احتیاط در مصرف این مواد شیمیایی است، و زمانی که گزینه مناسبی برای مدیریت آفات وجود نداشته باشد باید از آن‌ها استفاده گردد.

این مرور کوتاه بر رفتار مواد شیمیایی آلی در خاک‌ها پیچیدگی تغییراتی را که هنگام اضافه شدن مواد خارجی به محیط زیست ما صورت می‌گیرد مورد تأکید مجدد قرار می‌دهد. دانش ما از فرایندهای موجود در خاک نیاز به تجدیدنظری کلی در کارایی تأثیر بر زیست محیط را قبل از تصویب و استفاده از مواد شیمیایی جدید برای مصرف گسترده در اراضی مورد تأیید مجدد قرار می‌دهد.



شکل ۸-۸ اثر مستقیم حشره‌کش‌ها بر کنه‌های شکارچی در خاک و اثر غیرمستقیم کاهش تعداد کنه‌ها در جمعیت دم‌فتری‌ها (حشرات ریزی که به عنوان صید کنه‌ها عمل می‌کنند)

۵-۱۸ آسیب‌پذیری منطقه‌ای در آبشویی آفت‌کش‌ها

آسیب‌پذیری از نظر آبشویی آفت‌کش‌ها به آب زیرزمینی از منطقه به منطقه متفاوت است. بیشترین آسیب‌پذیری در مناطقی با بارندگی زیاد، و فورخاک‌های شنی، نظام‌های کشت و کار پرنهاده، و استفاده از آفت‌کش‌هایی صورت می‌گیرد که جذب ذرات خاک نمی‌شوند. جدول ۶-۱۸ نتایج مطالعه‌ای را که برای اندازه‌گیری آسیب‌پذیری مناطق مختلف آمریکا در آبشویی آفت‌کش‌ها و نیترات انجام شده است نشان می‌دهد. آسیب‌پذیری متوسط در ساحل جنوبی اقیانوس اطلس که خاک‌های شنی غالبند و نظام‌های کشت و کار پرنهاده (میوه‌ها و سبزی‌ها) رواج دارد بسیار زیاد است. همین‌طور، در کمربند کشت ذرت که اکثر اراضی زیر کشت مداوم ذرت با مصرف آفت‌کش و کود شیمیایی نیتروژنی بالا است، آسیب‌پذیری ناشی از آبشویی زیاد می‌باشد.

باید اشاره داشت که این اطلاعات منطقه‌ای ممکن است آسیب‌پذیری موضعی را در بعضی مناطق پنهان دارد. برای نمونه در مناطق خشک از ایالت‌های کوهستانی، مناطق زیر کشت آبی سبزی‌های پرنهاده قرار دارند که در آن‌ها آبشویی آفت‌کش‌ها و نیترات‌ها قابل ملاحظه است. همین‌طور مصرف بعضی از آفت‌کش‌های محلول در آب ممکن است سبب آبشویی آن‌ها به داخل آب زیرزمینی گردد، حتی اگر بافت خاک نیز سبک نباشد. این بیانگر سرشت وابستگی محلی خطرات در آفت‌کش‌ها است.

۶-۱۸ بهبود خاک‌های آلوده با مواد شیمیایی آلی

خاک‌های آلوده شده به وسیله آلاینده‌های آلی در سراسر جهان یافت می‌شوند. اراضی وسیع آلوده شده با آفت‌کش‌های آلی را می‌توان با کاهش میزان مصرف آفت‌کش‌ها، مصرف ترکیبات دارای سمیت و تحرک کمتر و تجزیه‌پذیری بیشتر مشخص کرد. بوم‌سامان خاک در یک زمان معقول باید قادر به بازیافت نقش و تنوع خود از طریق خود پالایی^۱ باشد.

شاید مناطق در اطراف مراکز پرجمعیت، که طی دهه‌ها سال ضایعات آلی صنعتی و خانگی در خاک آن‌ها تجمع پیدا کرده است، دارای بیشترین اهمیت باشند. میزان این آلاینده‌ها چنان بالا است که کشت گیاهان محدود یا ممنوع شده است. آلاینده‌ها به داخل آب زیرزمینی راه یافته و آب مشروب را برای مصارف انسانی نامناسب می‌سازند. ماهی‌ها و حیات وحش دچار صدماتی می‌شوند. به خاطر نگرانی عمومی،

^۱ -Self remediation

صنعت و حکومت سالانه بیلیون‌ها دلار برای تمیز کردن (پالایش) این خاک‌های آلوده شده هزینه می‌کنند. ما در این‌جا بعضی از روش‌های به‌کار گرفته به‌وسیله‌ی آنها را شرح می‌دهیم.

جدول ۶-۱۸ نتایج آسیب‌پذیری متوسط آبشویی آفت‌کش‌ها و نیترات‌ها در مناطق مختلف آمریکا: نتایج بر اساس انواع و مقادیر آفت‌کش مصرف‌شده در یک منطقه، و توان برای آبشویی از خاک در هر منطقه می‌باشد. هرچه عدد بزرگ‌تر باشد آسیب‌پذیری منطقه در آبشویی این مواد شیمیایی بیشتر است. به آسیب‌پذیری آفت‌کش‌ها در ایالت‌های آتلانتیک جنوبی، کمربند کشت ذرت و ایالت‌های دلتای توجه کنید.

منطقه	آبشویی مقایسه‌ای (متوسط=۱۰۰)	
	آفت‌کش	نیترات
شمال شرق	۲۶	۳۹
ساحل جنوبی اطلس	۴۲۰	۱۵۱
منطقه اپلاچی	۹۰	۱۵۳
ایالت‌های دریاچه ای	۷۴	۷۶
منطقه کمربند ذرت	۱۵۶	۳۳۶
ایالت‌های مصبی	۱۰۹	۱۲۰
دشت‌های شمالی	۴۵	۴۷
دشت‌های جنوبی	۲۲	۳۹
ایالت‌های کوهستانی	۱۵	۱۰
ساحل اقیانوس کبیر	۴۴	۲۹
میانگین	۱۰۰	۱۰۰

روش‌های فیزیکی و شیمیایی

مهم‌ترین روش‌های معمول رفع آلودگی خاک شامل روش‌های فیزیکی و یا روش‌های شیمیایی اصلاح خاک در محل اصلی^۱ و یا خارج از محل اصلی^۲ (انتقال خاک به محل اصلاح) است. روش دوم شامل استخراج خاک و انتقال آن به مخازن اصلاح بوده که در آن‌جا برای خروج مواد شیمیایی فرار و تجزیه‌ی بقیه مواد حرارت داده می‌شوند. ممکن است مواد محلول در آب و مواد شیمیایی فرار به‌وسیله‌ی راندن آب و هوا به داخل و یا خارج کردن آن‌ها به‌وسیله‌ی مکیدن^۳ و یا آبشویی^۴ از خاک جدا شوند. این روش‌ها معمولاً بسیار مؤثر، اما بسیار پرهزینه نیز می‌باشند، به‌خصوص اگر با مقادیر زیاد خاک سروکار داشته باشیم.

روش‌های اصلاح در جا، اگر فناوری‌های مناسب وجود داشته باشند معمولاً ترجیح داده می‌شوند. در این روش خاک به‌صورت طبیعی در محل اصلی باقی مانده، و بنابراین، هزینه‌های استخراج و انتقال کاهش یافته و قابلیت انعطاف کاربری اراضی در آینده افزایش خواهد یافت. مواد آلاینده یا از خاک برداشت‌شده (رفع آلودگی) و یا در داخل ماتریکس خاک جذب می‌شوند (در پیوند قرار گرفته و یا تثبیت می‌شوند). رفع آلودگی در محل اصلی شامل همان سازوکارهای آبشویی^۵، شستشو و عصاره‌گیری با مکش است که در روش خارج از محل اصلی (انتقال) معمول می‌باشند. اصلاح با آب برای ترکیبات غیرقطبی که به‌وسیله‌ی آب دفع می‌شوند مؤثر نیستند، دانشمندان و مهندسين ترکیباتی به اسم خیس‌کننده^۶ بر روی سطح خاک پاشیده و یا آن‌را در داخل خاک تزریق می‌کنند. با حرکت این مواد به داخل خاک آلاینده‌های آلی حل گردیده و سپس با پمپاژ از خاک خارج می‌شوند.

^۱ -In situ

^۲ -Ex situ

^۳ -Vacuum extraction

^۴ -Leaching

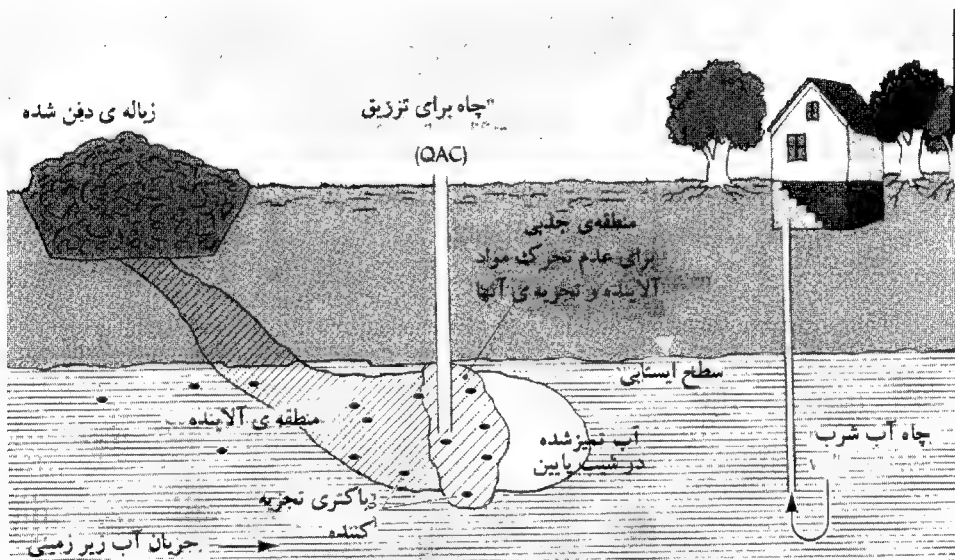
^۵ -Flushing

^۶ -Surfactants

رس‌های آلی: ممکن است بعضی از مواد خیس‌کننده برای عدم تحرک و یا تثبیت آلاینده‌های خاک به‌کار روند آن‌ها دارای بار مثبت بوده و از طریق تبادل کاتیونی می‌توانند کانیون‌های فلزی را از سطح خاک خارج سازند. برای مثال، یک گروه از این مواد خیس‌کننده به اسم ترکیبات آمونیوم چهارتایی^۱ (QAC) با فرمول کلی $(CH_3)_3NR^+$ بوده که R یک الکیل آلی^۲ و یا گروه حلقوی معطر^۳ می‌باشد. بار مثبت QAC. تبادل کاتیونی را با واکنش‌های مثل زیر با استفاده از کاتیون‌های قابل تبادل یک ظرفیتی تقویت می‌کند.



حاصل نهایی رس آلی نامیده می‌شود که خصوصیات آن با رس اولیه‌ی تیمارنشده بسیار متفاوت است. این رس‌ها به جای دافع مواد آلی غیرقطبی آن‌ها را جذب می‌کنند. بنابراین، تزریق QAC، به داخل منطقه آب زیرزمینی ایجاد رس‌های آلی را تقویت کرده و بنابراین، مواد محلول آلاینده در آب زیرزمینی را از تحرک باز داشته، و آن‌ها را تا تجزیه‌ی نهایی در داخل خاک نگاه می‌دارد (شکل ۹-۱۸).



شکل ۹-۱۸ چگونه مجموعه QAC (هگزادسیل‌تری‌متیل‌آمونیم^۴) و تجزیه‌ی زیستی باکتریایی می‌تواند سبب نگهداری و حذف یک آلاینده آلی گردند. آلاینده از یک محل دفع زباله به داخل آب زیرزمینی حرکت می‌کند. QAC تزریق‌شده در مسیر حرکت آب زیرزمینی با رس خاک وارد واکنش شده، رس آلی و همتافت‌های ماده‌ی آلی خاک را ایجاد و آلاینده را جذب و تثبیت می‌کند و زمان لازم به ریز جانداران خاک برای تجزیه و نابودی آن فراهم می‌گردد.

ضرایب توزیع K_d : همان‌طور که در بخش ۱۶-۸ یاد گرفتیم، میزان جذب ترکیبات آلی به وسیله‌ی کلویدهای خاک معمولاً به وسیله‌ی ضریب توزیع بین بخش‌های جذب‌شده و محلول ترکیب آلی مشخص می‌گردد.

$$K_d = \frac{\text{میلی گرم ماده آلاینده در کیلوگرم خاک}}{\text{میلی گرم ماده آلاینده در لیتر محلول}}$$

K_d رس‌های عمل‌نیامده بسیار پایین است، زیرا رس‌ها آب‌دوست^۵ بوده و لایه‌های آب چسبیده به آن‌ها سبب دفع ترکیبات آلی غیرقطبی آب‌گریز^۶ می‌شود. برعکس، رس‌های آلی^۷ سبب جذب آلاینده‌ها شده، و مقدار اندکی را در محلول خاک باقی می‌گذارد. و بنابراین، حرکت آن‌ها را به داخل آب زیرزمینی و نهایتاً به رودها و منابع آب آشامیدن کاهش می‌دهند. بنابراین، مقادیر نسبت K_d

^۱ -Quaternary ammonium compounds

^۲ -Organic Alkyl

^۳ -Aromatic Group

^۴ -Hexadecyltrimethylammonium

^۵ -Hydrophillic

^۶ -Hydro phobic

^۷ -Organoclay

جدول ۷-۱۸ میزان ماده‌ی آلی پس از اصلاح رس‌های دارای ظرفیت تبادل کاتیونی مختلف با QAC برای ایجاد رس آلی و ضرایب جذب K_d ترکیبات آلی در روی این رس‌های آلی: مقادیر بالای K_d بیانگر نگهداری بالای آلاینده‌ها و غلظت کم آن‌ها در محلول می‌باشد. به تمایل کمتر کائولینیت، ایلیت در تشکیل رس‌های آلی و به ضرایب جذب متفاوت در ترکیبات مختلف توجه کنید.

رس	CEC رس عمل نیامده Cmol/kg	درصد کربن آلی در رس آلی	K _d آلاینده‌های آلی بر روی رس‌های آلی				
			بنزن	تولنن	اتیل بنزن	پروپیل بنزن	نفتالین
ایلیت	۲۴	۲۰۵	۳۹	۷۷	۱۵۶	—	۱۲۷۰
ورمی‌کولیت	۸۰	۱۶۰۴	۶۸	۱۶۹	۴۴۸	۱۶۱۸	۱۳۸۷
اسمکتیت بار زیاد	۱۳۰	۲۳	۱۸۴	۳۱۹	۵۸۳	۱۴۱۲	۴۸۱۸
کانولیت	۴	۱	۳	۷	۲۱	—	—

برای خاک‌های خیلی آلوده یک جایگزین زیستی برای روش‌های حرارت‌دادن، آبخوبی و دفن^۲ به اسم پالایش زیستی وجود دارد. به‌طور ساده، این روش سبب ارتقای فعالیت گیاهی و میکروبی برای تجزیه آلاینده‌های آلی به محصولات بی‌ضرر حاصل از سوخت‌وساز می‌باشد. اجزای نفت که شامل هیدروکربن‌های حلقوی پلی‌اکریل^۳ بسیار مقاومند و همچنین چندین ترکیبات مصنوعی مانند پتاکلروفل^۴ و تری‌کلرواتیلن^۵ می‌توانند عمده‌تاً به‌وسیله باکتری‌های خاک تجزیه شوند. در بعضی موارد، از موجودات حاضر در خاک بهره‌گیری می‌شود. در موارد دیگر میکروب‌ها اختصاصاً با توجه به توانایی آن‌ها در حذف آلاینده‌ها انتخاب و به‌داخل مناطقی از خاک که از نظر آلودگی شناخته‌شده می‌باشند، ارائه می‌شوند. برای مثال، اخیراً یک باکتری مشخص شده است که می‌تواند سمیت پرکلرو اتان (PCE) را که یک آلاینده معمول و بسیار سمی در آب زیرزمینی مشکوک به ایجاد سرطان است از بین ببرد.

$$\begin{array}{ccccccc} \text{Cl} & & \text{Cl} & & \text{H} & & \text{Cl} & & \text{H} & & \text{H} & & \text{H} & & \text{H} \\ & \diagdown & / & & & \diagdown & / & & & \diagdown & / & & & \diagdown & / \\ & \text{C} = \text{C} & & \xrightarrow{2\text{H HCl}} & \text{H} - \text{C} = \text{C} & & \xrightarrow{2\text{H HCl}} & \text{H} - \text{C} = \text{C} & & \xrightarrow{2\text{H HCl}} & \text{H} - \text{C} = \text{C} & & \xrightarrow{2\text{H HCl}} & \text{H} - \text{C} = \text{C} & & \xrightarrow{2\text{H HCl}} & \text{H} - \text{C} = \text{C} \\ & / & \diagdown & & \diagdown & / & & \diagdown & / & & \diagdown & / & & \diagdown & / & & \diagdown & / \\ \text{Cl} & & \text{Cl} & & \text{Cl} & & \text{Cl} & & \text{H} & & \text{H} & & \text{H} & & \text{H} & & \text{H} \end{array}$$

اتیلن گاز بی ضرر

¹ -Bioremediation² -Land filling³ -Polycyclic aromatic hydrocarbons(PAHs)⁴ -Pentachlorophenol⁵ -Trichloroethylene⁶ -Phytoremediation

بعضی از گیاهان می‌توانند آلاینده‌های آلی خاص را جذب و مورد سوخت‌وساز قرار دهند. بعضی دیگر موادی از ریشه خود ترشح می‌کنند که می‌تواند به تجزیه‌ی آلاینده‌ها کمک کنند. هرچند عامل اصلی در تجزیه آلاینده‌ها با همکاری گیاهان و ریزجاندارانی می‌باشد که با ریزوسفر نبات همراهند. ریشه‌ی نباتات موادی ترشح می‌کنند که به‌عنوان منبع انرژی برای میکروب‌ها بوده و آن‌ها هم آنزیم‌هایی ترشح می‌کنند که می‌تواند آلاینده‌های آلی را تجزیه کند. همان‌طور که بعداً خواهیم دید (فصل ۱۰-۱۸) رفع آلودگی‌های گیاهی برای حذف فلزات سنگین و سایر آلاینده‌های معدنی و ازجمله مواد پرتوزا بیشتر مؤثر می‌باشند.

رفع آلودگی به‌وسیله‌ی نبات، مخصوصاً وقتی مناطق بزرگی از خاک به‌وسیله‌ی آلاینده‌های آلی فقط با غلظت متوسط آلوده شده باشند سودمند خواهد بود. هرچند رفع آلودگی به‌وسیله‌ی نبات زمان طولانی‌تری را برای جداسازی مقادیر زیاد آلاینده‌ها درمقایسه با روش‌های مهندسی لازم دارد.

قابلیت استفاده‌ی زیستی^۱ مواد شیمیایی جذب‌شده و یا همتافت شده: محققین دریافته‌اند که به‌نظر می‌رسد بعضی از مواد شیمیایی که به‌طور معمول در معرض حمله میکروبی قرار می‌گیرند در صورت جذب به‌وسیله‌ی مواد معدنی و یا همتافت‌شدن به‌وسیله‌ی ماده‌ی آلی خاک از تجزیه محافظت می‌شوند. همتافت کردن اساساً غیرقابل برگشت بوده و جذب به‌وسیله‌ی اکسیدهای Al و Fe و یا سیلیکات‌های رسی چنان محکم است که این ترکیبات به کندی بسیار قابل استفاده می‌باشند.

ممکن است بعضی از ترکیبات در لایه‌های داخل ساختمان بعضی از رس‌های سیلیکاتی محبوس شوند. قابلیت استفاده زیستی با مس‌شدن همتافت‌های خاک و آلاینده کاهش می‌یابد. کاهش قابلیت استفاده زیستی آلاینده‌ها پاک‌سازی آن‌ها را به‌وسیله‌ی ریزجانداران محدود می‌سازد. از آن‌جا که به‌نظر نمی‌رسد آلاینده‌های محکم نگهداری شده به داخل آب زیرزمینی و یا جای دیگر در زیست‌محیط حرکت کنند این امر برای تدوین مقررات تا حدی کاربرد دارند.

تأمین عناصر غذایی: فناوری پالایش زیستی از چند طریق تجزیه شیمیایی طبیعی را یاری می‌دهد. معمولاً خاک به‌طور طبیعی حاوی بعضی باکتری‌ها و یا دیگر ریز موجودات است که می‌توانند آلاینده‌های خاصی را تجزیه کنند، اما سرعت تجزیه طبیعی چنان کند است که نمی‌تواند بسیار مؤثر باشد. رشد و میزان سوخت‌وساز موجوداتی که دارای توان استفاده از آلاینده‌ها به عنوان منبع کربن هستند، به‌دلیل کافی نبودن عناصر غذایی معدنی، محدود است. (بخش ۳-۱۲ را در مورد بحث C/N و تجزیه مواد آلی مطالعه کنید). کودهای شیمیایی با فرمول‌های خاص برای سرعت بخشیدن هرچه بیشتر به فرایند تجزیه مورد استفاده قرار گرفته‌اند. یکی از این کودها که در فرانسه ساخته شده است، امولسیون روغنی اوره خیلی ریز در آب^۲، لوریل فسفات^۳ و یک تثبیت‌کننده‌ی امولسیون است. این کود نه تنها به‌عنوان عرضه‌کننده‌ی عناصر غذایی عمل می‌کند، بلکه می‌تواند به‌صورت یک خیس‌کننده تعامل بین میکروب‌ها و مواد آلاینده آلی را ارتقاء دهد.

تمیز کردن نشست‌های نفتی: ۳۰ جنس و یا بیشتر از باکتری‌ها و قارچ‌ها تقریباً در هر خاک و یا محیط‌های آلی از نظر تجزیه هیدروکربن‌ها شناخته شده‌اند، اما این ریزجانداران نیازمند مساعدت می‌باشند. تمیز کردن آلودگی نفت خام تثبیت یافته اکسون‌والدز^۴ در آب‌های آلاسکا در سال ۱۹۸۹ یک مورد خاص موفقیت‌آمیز پالایش زیستی با استفاده از کود بود (شکل ۱۰-۱۸). یک کود خاص بر روی سواحل آغشته به نفت (آنتی‌سول‌ها) پاشیده شد. کود شیمیایی برای نفت‌دوستی (محلول در نفت اما غیرمحلول در آب) فرموله شده بود به‌طوری که می‌توانست با نفت باقی‌مانده، سبب غنی شدن ترعی پرنس‌ویلیام نگردد. در طول چند هفته به‌رغم سرمای زیاد اکثر نفت موجود در محل آزمایش تجزیه گردید. موفقیت پالایش زیستی در صورت قابل استفاده بودن زیاد نیتروژن برای ریزجانداران در بالاترین مقدار بود.

سازوکارهای درجا^۵: سایر موارد، استفاده از سازوکارهای پالایش زیستی درجا را طلب می‌کند. در بعضی موارد تداخل پایین سبب کمبود اکسیژن و در نتیجه کاهش فعالیت میکروبی می‌شود. سازوکارهایی ابداع شده‌اند که از پالایش زیستی برای تمیز کردن آلودگی خاک‌های دارای کمبود اکسیژن و آب‌های زیرزمینی آلوده همراه آن استفاده می‌شود. برای نمونه، خاک‌های آلوده با مواد حلال آلی با فرستادن مخلوطی از هوا (اکسیژن)، متان (به عنوان یک منبع کربن برای تقویت باکتری‌های خاص)، و فسفر (عنصر غذایی لازم برای رشد باکتری‌ها) به‌طور زیستی پالایش شده‌اند (شکل ۱۱-۱۸).

^۱-Bioavailability

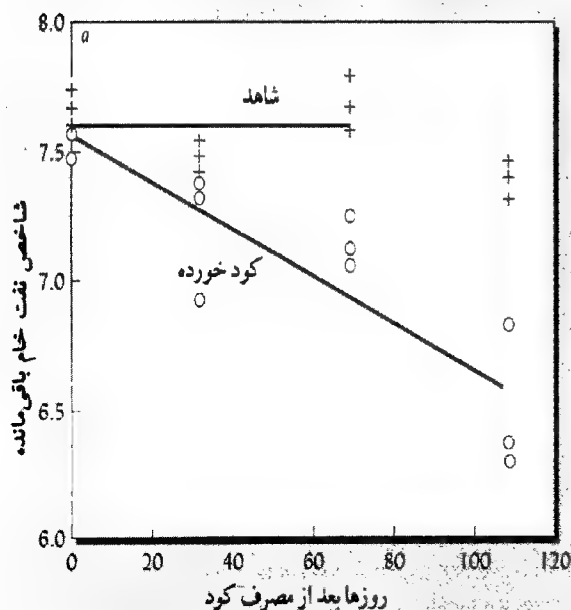
^۲-Oil-in - Water microemulsion urea

^۳-Lauryl phosphate

^۴-Exxon Valdez

^۵-In situ Techniques

موفقیت‌هایی در تلفیق خاک‌های آلوده با جانداران اصلاح‌شده که می‌توانند آلاینده‌ها را با سرعت بیشتر از جمعیت بومی تجزیه کنند به‌دست آمده است. گرچه مفیدبودن مهندسی ژنتیک در ایجاد باکتری‌های برتر در آینده ثابت شده است، اکثر تلفیج‌ها با استفاده از موجوداتی که در شرایط طبیعی یافت می‌شوند به‌دست آمده‌اند. موجوداتی که از مناطق دارای تاریخ طولانی در آلودگی خاص جداشده و یا از کشت آزمایشگاهی بر روی مواد غذایی غنی از آلاینده موردنظر به‌دست آمده‌اند، تمایل دارند که در سوخت‌وساز مواد شیمیایی مورد هدف سازگاری پیدا کنند.



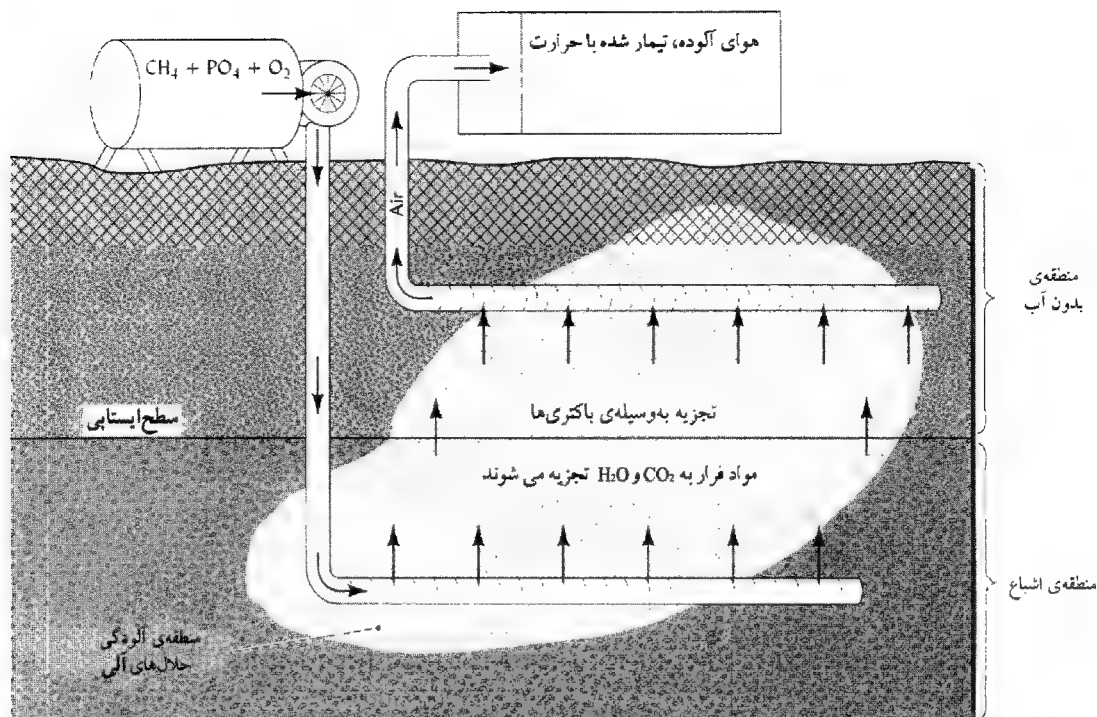
شکل ۱۰-۱۸ پالایش زیستی نفت خام در حادثه نشت نفت اکسون والدرز در ساحل آلاسکا. نفتی که سبب آلودگی ساحل بود به‌وسیله‌ی باکتری‌های بومی وقتی یک کود محلول در نفت حاوی نیتروژن و فسفر بر روی ساحل پاشیده شده تجزیه گردید (علامت O در روی خط سمت چپ). در قسمت شاهد ساحل (علامت +) برای ۷۰ روز کود مصرف نشد. مصرف کود بعد از آن تاریخ چنان اثر داشت که تصمیم گرفته شد قسمت شاهد نیز پاک‌سازی شود. شاخص باقی‌مانده نفت (محور عرض‌ها) براساس مقیاس لگارتیمی طبیعی است بنابراین هر شماره کامل بیانگر بیش از دو برابر است. عکس (سمت راست) مرز مشخص بین بخش شاهد و قسمت کودخورده را در ساحل نشان می‌دهد.

۷-۱۸ آلایش با مواد معدنی سمی

برآورد شده است که سمیت آلاینده‌های معدنی که هر سال در محیط زیست رها می‌شوند، از مجموع منابع آلی و مواد پرتوزا بیشتر است. بیشترین مسائل به احتمال زیاد شامل جیوه، کادمیم، سرب، آرسنیک، نیکل، مس، روی، کروم، مولیبدن، منگنز، سلنیم، فلور و بر می‌باشد. تمام این عناصر در درجات کمتر و بیشتر برای انسان‌ها و سایر حیوانات سمی هستند. کادمیم و آرسنیک فوق‌العاده سمی می‌باشند، جیوه، سرب، نیکل و فلور در حد متوسطی سمی بوده، بر، مس، منگنز و روی دارای سمیت نسبتاً کمتری در پستانداران می‌باشند. اگرچه عناصر فلزی (به‌استثنای فلور و بر) همگی فلزات سنگین نیستند اما برای سهولت معمولاً این واژه‌گان برای مراجعه به آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. جدول ۸-۱۸ اطلاعات زمینه را در مورد استفاده، منابع و اثرات بعضی از این عناصر را ارائه می‌دهد.

منابع و تجمع عناصر

منابع بسیار زیادی از مواد آلاینده شیمیایی معدنی وجود دارند که می‌توانند در خاک‌ها تجمع یابند. سوزاندن سوخت‌های فسیلی، ذوب فلزات و سایر سازوکارهای فرآوری که تنها از این مواد را به نیوار رها می‌سازند می‌توانند آن‌ها را کیلومترها انتقال داده و بعداً بر روی پوشش گیاهی و یا خاک ترسیب کنند. مس، نیکل و بر مواد افزودنی به بنزین هستند که به‌داخل نیوار رها شده و به‌وسیله‌ی بارندگی و برف به خاک باز می‌گردند.



شکل ۱۱-۱۸ پاک‌سازی زیستی در جا در خاک و آب زیرزمینی آلوده شده با حلال‌های آلی قرار در یک منطقه صنعتی در ایالت جورجیا. مخلوطی از متان، هوا و فسفر از طریق لوله‌های مشبک به‌طور متناوب به‌داخل خاک پمپ می‌شوند. درحالی‌که لوله دیگر (تحت مکش) هوا را از خاک خارج می‌سازد. هوا و عناصر غذایی سبب تقویت رشد باکتری‌های خاص گشته که به‌محض تمام‌شدن مصرف متان، به حلال آلی برای منبع کربن رو می‌آورند. برآورد شده است که فناوری پالایش زیستی در این مکان، زمان تمیزکردن را از ۱۰ سال به کمتر از ۴ سال تقلیل داده و ۱/۶ میلیون دلار صرفه‌جویی می‌کند.

بوراکس در مواد پاک‌کننده، کودهای شیمیایی و مواد خاموش‌کننده آتش به‌کار می‌رود که همگی معمولاً به خاک می‌رسند. سوپرفسفات و آهک دو ماده اصلاح‌کننده یا مصرف زیاد معمولاً دارای مقادیر اندکی کادمیم، مس، منگنز، نیکل و روی می‌باشند. کادمیم در آبکاری فلزات و در باتری‌سازی مصرف می‌شود. ارسنیک سال‌های زیاد به‌عنوان حشره‌کش پنبه، تنباکو، میوه‌ها، چمن و به‌عنوان کشنده گیاهان هرز و رونده‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. بعضی از این فلزات مورد اشاره به‌عنوان اجزای آفت‌کش‌های آلی خاص و یا در لجن فاضلاب خانگی و صنعتی یافت می‌شوند. آلاینش اضافی خاک‌ها به‌طور موضعی با فلزات از بخارات کوره‌های ذوب فلزات، ضایعات صنعتی و آلودگی هوا حاصل می‌شود.

بعضی از فلزات سمی در مقادیر زیاد در نیوار رها می‌شوند، درحالی‌که بقیه (عمدتاً سرب، به‌خاطر تغییر در فرمول بنزین) درحال کاهش می‌باشند. تمام این مواد به‌طور روزانه از طریق هوا، غذا، آب و خاک‌ها به‌وسیله انسان جذب می‌شوند.

تراکم در بافت‌های جانداران

عناصر سمی با هر منشاء نهایتاً به خاک رسیده و در آنجا به بخشی از زنجیره غذایی: خاک ← گیاه ← حیوان ← انسان (شکل ۱۲-۱۸) تبدیل می‌شوند. متأسفانه، وقتی عناصر به بخشی از این چرخه تبدیل می‌شوند، آنها ممکن است در بافت‌های حیوانی و انسانی در حد سمیت تجمع یابند. این موقعیت برای ماهی‌ها و سایر حیات‌وحش و انسان، که در بالای زنجیره غذایی می‌باشد، خطرناک خواهد بود. این قبلاً سبب ایجاد محدودیت‌هایی برای مصرف ماهی‌ها و دیگر حیوانات وحشی خاص برای مصرف انسان شده است. امروزه جلوگیری از رهاشدن این عناصر سمی در شکل ضایعات کارخانه‌ها الزامی گردیده است.

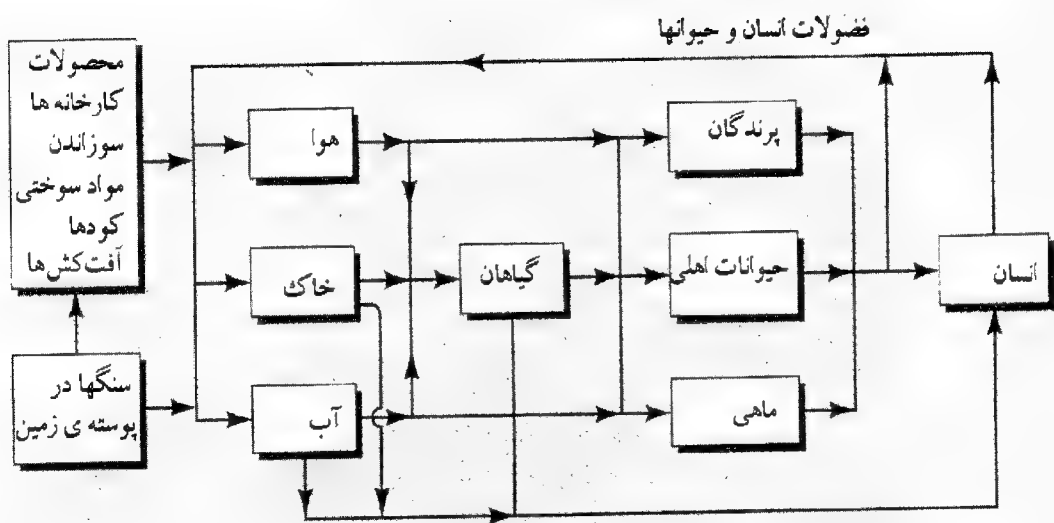
۸-۱۸ خطرات بالقوه مواد شیمیایی در لجن فاضلاب

لجن فاضلاب‌های خانگی و صنعتی که در فصل ۱۶ مورد ملاحظه قرار گرفت، منابع عمده مواد شیمیایی دارای سمیت بالقوه می‌باشند. حداقل نصف لجن فاضلاب شهری تولیدشده در آمریکا در خاک مصرف می‌شود، چه در روی اراضی کشاورزی و یا اراضی اصلاح‌شده

بعد از فعالیت‌های معدن‌داری و صنعتی. لجن فاضلاب صنعتی معمولاً مواد شیمیایی آلی و معدنی در بر داشته که می‌توانند اثرات زیست‌محیطی خسارت باری داشته باشند.

جدول ۸-۱۸ برخی منابع آلاینده‌های معدنی خاک

مواد شیمیایی	استفاده‌های عمده و منابع آلاینده‌ی خاک	موجوداتی که عمدتاً صدمه می‌بینند	اثرات بر سلامت انسان
آرسنیک	آفت‌کش‌ها، خشک‌کننده‌ی گیاهان، مواد اضافی غذای دام، ذغال‌سنگ و نفت، بقایای معدن، مواد پاک‌کننده	انسان، حیوان، ماهی، پرنده	سم تجمع‌می، احتمالاً سرطان
کادمیم	آبکاری برقی، دانه‌های رنگی برای پلاستیک و رنگ‌ها، پایدارکننده‌ی پلاستیک، ساخت باتری و کودهای فسفاته	انسان، حیوان، ماهی، پرنده، گیاهان	امراض قلب و کلیه، پوکی استخوان
کروم	فولاد ضد زنگ، فلزات با آب کروم، دانه‌های رنگی، کارخانه آجر نسوز و نرم کردن چرم	انسان، حیوان، ماهی، پرنده	عامل مواتسیون و از عناصر غذایی اصلی
مس	بقایای معدن، خاکستر شناور، کودهای شیمیایی، مواد باد رفته حاوی مس و لوله‌های آب	ماهی و گیاه	از عناصر غذایی اصلی اثر اندک بر سلامت
سرب	احتراق بنزین، نفت و زغال سنگ، تولید آهن و فولاد ولجیم بر روی اتصالات لوله‌های آب	انسان، حیوان، ماهی، پرنده	خسارت مغزی، تشنج
جیوه	آفت‌کش، کاتالیزور برای پلیمرهای مصنوعی، ذوب فلزات و دماسنج	انسان، حیوان، ماهی، پرنده	خسارت به اعصاب
نیکل	احتراق ذغال‌سنگ، بنزین و نفت، کارخانه‌های آلیاژ، آبکاری برقی، ساخت باتری و استخراج معادن	ماهی و گیاه	سرطان شش
سلنیم	تشکیلات زمین‌شناسی حاوی سلنیم و آبیاری با پساب غنی از سلنیم	انسان، حیوان، ماهی، پرنده	ریختن مو و تغییر شکل ناخن عنصر اصلی
روی	فولاد و آهن گالوانیزه، آلیاژ، باتری، برنج، کارخانه‌های لاستیک‌سازی، استخراج معدن و لاستیک‌های کهنه	ماهی و گیاه	خسارت اندک، عنصر غذایی اصلی



شکل ۱۲-۱۸ منابع فلزات سنگین و چرخه‌ی آن‌ها در بوم‌سامان خاک، آب، هوا و جانداران. باید توجه نمود که میزان فلزات در اتمام‌های موجودات معمولاً از چپ به راست افزایش یافته و بیانگر آسیب‌پذیری انسان‌ها به فلزات سنگین می‌باشد.

برنامه‌های کاهش منابع آلودگی: در طول دهه‌های ۷۰ و ۸۰ مطالب بسیار زیادی در مورد محتوا، رفتار و سمیت فلزات در لجن فاضلاب شهری روشن گردید. یکی از نتایج این تحقیقات اعمال برنامه‌های کاهش منابع آلودگی بود، که صنایع ملزم گردیدند آلاینده‌ها را قبل از فرستادن آن‌ها به داخل مراکز تصفیه فاضلاب شهری پاک‌سازی کنند. در بسیاری از موارد، بازیافت آلاینده‌های فلزی ارزشمند برای صنایع فی‌الواقع سودمند بود. به‌خاطر این برنامه‌ها لجن فاضلاب شهری بسیار تمیزتر از قبل هستند (جدول ۹-۱۸). توجه داشته باشید که غلظت میانه آلاینده‌های صنعتی سمی (PCB, Cr, Pb, Cd) بین مطالعات سال‌های ۱۹۷۶ و ۱۹۹۰ به مقدار فوق‌العاده زیادی کاهش یافت. از آن‌جاکه اکثر مس از لوله‌کشی خانه‌ها حاصل می‌شود (فلز مس در مناطق با منابع آب اسیدی مقداری حل می‌شود)، این فلز کمتر تحت تأثیر مقررات کاهش منابع قرار گرفته است.

جدول ۹-۱۸ غلظت میانه آلاینده‌ها در مطالعات لجن فاضلاب در سرتاسر آمریکا در سال ۱۹۷۶ و ۱۹۹۰، در خاک‌های غیرآلوده‌ی کشاورزی و کود گاوی

آلاینده	غلظت میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خاک			
	لجن فاضلاب در مطالعات ۱۹۹۰	لجن فاضلاب در مطالعات ۱۹۷۶	خاک‌های کشاورزی	مقادیر شاخص در کود گاوی
As	۶	۱۰	-	۴
Cd	۷	۲۶۰	۰/۲	۱
Cr	۴۰	۸۹۰	-	۵۶
Cu	۴۶۳	۸۵۰	۱۸/۵	۶۲
Hg	۴	۵	-	۰/۲
Mo	۱۱	-	-	۱۴
Ni	۲۹	۸۲	۱۸/۲	۲۹
Pb	۱۰۶	۵۰۰	۱۱	۱۶
Zn	۷۲۵	۱۷۴۰	۵۳	۷۱
PCB	۰/۲۱	۹	-	۰

مقررات مصرف لجن فاضلاب در اراضی: هرچه میزان فلزات (و آلاینده‌های آلی) پایین باشد لجن فاضلاب برای استعمال در خاک‌ها به‌میزان بیشتری نسبت به سابق متناسب خواهد بود. امروزه مقدار لجن فاضلاب که می‌تواند در اراضی کشاورزی مصرف شود اغلب به‌وسیله‌ی توان آلودگی نیترات حاصل از نیتروژن موجود در آن محدود می‌گردد. با این حال، مقررات مصرف لجن فاضلاب در اراضی زراعی چنان تنظیم شده است تا مطمئن شویم که غلظت فلز در لجن فاضلاب از استانداردها پیشی نگرفته و مقدار کل فلزات استعمال شده در خاک در طول سال‌ها از حدود حداکثر بار تجمعی که در جدول ۱۰-۱۸ آمده است افزون‌تر نشود. این واقعیت که استانداردهای بار فلز در بین آمریکا و اروپا متفاوت است بیانگر سرشت خطر آلودگی فلزی است که هنوز مورد بحث و جدل است.

اثرات سمی حاصل از لجن فاضلاب: عدم اطمینان از سرشت بسیاری از مواد شیمیایی موجود در لجن فاضلاب، و همین‌طور سرشت تجمعی فلزات، احتیاط مداوم را در اجرای مقررات حاکم بر مصرف لجن فاضلاب در اراضی کشاورزی به ما تحمیل می‌کنند. اثر استعمال لجن حاوی فلزات زیاد بر مقدار فلزات سنگین خاک و زندگی کرم‌های خاکی در خاک در جدول ۱۱-۱۸ تشریح شده است. در خاک‌هایی که در آن لجن فاضلاب مصرف شده بود، همچنین در اندام‌های کرم‌های خاکی در حال زیست در این خاک‌ها، بعضی از این عناصر غنی‌تر از اراضی شاهد بود که این عناصر در آن مصرف نشده بودند. باید انتظار غلظت بیشتری را از این عناصر در اندام‌های پرندگان، ماهی‌ها و بسیاری دیگر از جانوران تغذیه‌کننده‌ی کرم‌های خاکی داشته باشیم.

زارعین باید مطمئن باشند که میزان مواد شیمیایی معدنی در لجن فاضلاب چنان بالا نیست که برای گیاهان (امکان برای روی و مس) و یا انسان و دیگر جانوران که این گیاهان را مصرف می‌کنند (نگرانی جدی در مورد Cd, Cr, Pb) سمیت ایجاد کند. در لجن فاضلاب شهری با فلزات اندک به نظر می‌رسد مقادیر استعمال به مقدار کافی برای تأمین نیتروژن مورد نیاز که کاملاً سالم باشد (جدول ۱۲-۱۸).

جدول ۱۰-۱۸ حدود مجاز فلزات در آلاینده‌های معدنی (فلزات سنگین) در لجن فاضلاب مصرف شده در اراضی کشاورزی

عنصر	غلظت حداکثر در لجن بر حسب mg/kg سازمان حفاظت زیست آمریکا*	میزان بار آلودگی سالانه بر حسب kg/ha/yr سازمان حفاظت زیست آمریکا	بار آلودگی تجمعی kg/ha		
			آلمان	سازمان حفاظت زیست آمریکا	انتاریو
As	۷۵	۲	-	۴۱	۲۸
Cd	۸۵	۱/۹	۳/۲	۳۹	۳/۲
Cr	۳۰۰۰	۱۵۰	۲۰۰	۳۰۰۰	۲۴۰
Cu	۴۳۰۰	۷۵	۱۲۰	۱۵۰۰	۲۰۰
Hg	۵۷	۰/۳۵	۲	۱۷	۱
Mo	۷۵	-	-	-	۸
Ni	۴۲۰	۲۱	۱۰۰	۴۲۰	۶۴
Pb	۸۴۰	۱۵	۲۰۰	۳۰۰	۱۲۰
Se	۱۰۰	۵	-	۱۰۰	۳/۲
Zn	۷۵۰۰	۱۴۰	۴۰۰	۲۸۰۰	۴۴۰

بلع خاک‌ها و لجن فاضلاب یکی از راه‌های در معرض آلودگی قرارگرفتن انسان‌ها و حیوانات است. حیوانات نباید اجازه داده شوند در مراتعی که لجن فاضلاب در آن‌ها مصرف شده است، چرا کنند. مگر آن‌که باران و آبیاری لجن را از روی پوشش برگ‌سی شسته باشد. بچه‌ها ممکن است در حال بازی مقداری خاک ببلعند. مقدار قابل‌ملاحظه‌ای از خاک نهایتاً در بعضی منازل تبدیل به گرد و غبار شده و بلع مستقیم خاک و گردوغبار، مخصوصاً از نظر سمیت سرب بسیار خطرناک است.

جدول ۱۱-۱۸ اثر مصرف لجن بر میزان فلزات سنگین در خاک و کرم‌های خاکی. به غلظت بالای کادمیم و روی در کرم‌های خاکی توجه شود

عنصر فلزی	عنصر فلز میلی‌گرم/کیلوگرم			
	خاک		کرم‌های خاکی	
	شاهد	مصرف لجن فاضلاب	شاهد	مصرف لجن فاضلاب
Cd	۰/۱	۲/۷	۴/۸	۵۷
Zn	۵۶	۱۳۲	۲۲۸	۴۵۲
Cu	۱۲	۳۹	۱۳	۳۱
Ni	۱۴	۱۹	۱۴	۱۴
Pb	۲۲	۳۱	۱۷	۲۰

جدول ۱۲-۱۸ جذب فلزات به‌وسیله‌ی ذرت بعد از ۱۹ سال کوددادن یک خاک مینه‌سوتا (تیبیک هاپلودول^۱) با لجن فاضلاب پایدار شده به‌وسیله‌ی آهک: توجه کنید که فلزات شیوه‌ی شاخص تمرکز کمتری را در دانه‌ها درمقایسه با برگ‌ها و ساقه نشان می‌دهند. مصرف سالانه‌ی لجن به‌مقدار ۱۰/۵ تن‌درهکتار برای تأمین نیتروژن موردنیاز طراحی گردیده بود. لجن اثر کمی بر میزان فلز نبات داشت، به‌استثنای روی (مقدار آن افزایش یافت اما از دامنه‌ی معمول برای ذرت تجاوز نکرد)

جذب mg/kg						تیمار
Cr	Ni	Pb	Cd	Cu	Zn	
ساقه						
۰/۹	۰/۷	۰/۹	۰/۱۶	۸/۴	۱۸	کود شیمیایی
۱/۴	۰/۶	۰/۸	۰/۱۸	۷	۴۶/۵	لجن فاضلاب
دانه						
۰/۲	۰/۴	۰/۴	۰/۲۹	۳/۲	۲۰	کود شیمیایی
۰/۲	۰/۳	۰/۵	۰/۳۱	۳/۲	۲۶	لجن فاضلاب
۱۰۴۵	۴/۹	۴۹	۱/۲	۱۳۵	۱۷۵	مقدار فلز (تجمعی) مصرف شده در فاضلاب kg/ha

۹-۱۸ واکنش‌های آلاینده‌های معدنی در خاک‌ها

فلزات سنگین در لجن فاضلاب

نگرانی در مورد تجمع فلزات سنگین ناشی از مصرف زیاد لجن فاضلاب مسبب انجام تحقیقاتی در مورد سرنوشت این مواد شیمیایی در خاک شده است. بیشترین توجه به روی، مس، نیکل و کادمیم مبدول گردیده است که معمولاً در مقادیر قابل‌توجهی در لجن فاضلاب وجود دارند. مطالعات نشان داده‌اند که اگر خاک خیلی اسیدی نباشد، این مواد معمولاً در پیوند با اجزای تشکیل‌دهنده‌ی خاک قرار می‌گیرند آن‌ها به آسانی از خاک آبشویی نیافته و بنابراین، به آسانی به‌وسیله‌ی گیاه قابل‌استفاده نمی‌باشند. فقط در خاک‌های اسیدی متوسط تا شدید حرکت این مواد از لایه‌ای که در آن لجن استعمال شده است به‌طرف پایین در داخل خاک‌رخ قابل توجه خواهد بود. نظارت بر اسیدیته خاک و استعمال عاقلانه‌ی آهک از آبشویی آن‌ها به‌داخل آب زیرزمینی ممانعت کرده و می‌تواند جذب به‌وسیله‌ی گیاهان را به‌حداقل برساند.

اشکال موجود در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب: با استفاده از عصاره‌گیری‌های شیمیایی، محققین دریافته‌اند که این فلزات به چهار طریق با بخش جامد خاک همراه می‌باشند (جدول ۱۳-۱۸). اول، بخش بسیار کوچکی به‌صورت جذب سطحی و یا قابل‌تعویض می‌باشد که برای گیاهان قابل‌استفاده است. دوم، عناصری که در پیوند با مواد آلی خاک و یا لجن فاضلاب قرار دارند. بخش بزرگی از مس معمولاً در این شکل مشاهده می‌شود، سرب چنان با شدت جذب این مواد نمی‌گردد. عناصر در پیوند با مواد آلی به آسانی قابل‌استفاده برای گیاهان نبوده اما می‌توانند در طول زمان آزاد شوند.

سومین همراهی فلزات سنگین در خاک‌ها پیوند با کربنات‌ها و اکسیدهای آهن و آلومینیوم خاک می‌باشد. عناصر در این اشکال کمتر از اشکال جذب سطحی و یا عناصر در شکل پیوند با مواد آلی قابل استفاده گیاه می‌باشند. به‌خصوص اگر امکان اسیدی‌شدن خاک فراهم نباشد. چهارمین همراهی فلزات سنگین معمولاً به عنوان اشکال باقیمانده^۲ شناخته شده است، که شامل سولفیدها و سایر ترکیبات نامحلول می‌باشد که درمقایسه با سایر اشکال عناصر در خاک کمتر قابل‌استفاده‌اند.

خوشبختانه فلزات سنگین مصرف شده در خاک به آسانی به‌وسیله‌ی نباتات جذب نگردیده و به آسانی از خاک آبشویی نمی‌شوند. هرچند عدم تحرک فلزات باین معنی است که در صورت استعمال مکرر لجن فاضلاب آن‌ها در خاک تجمع می‌یابند. باید احتیاط کرد که مقادیر مصرف شده چنان زیاد نباشد که از ظرفیت خاک برای واکنش با یک عنصر خاص فزونی گیرد. به این دلیل است که مقرراتی برای حداکثر تراکم مجاز در هر عنصر برقرار شده است (جدول ۱۰-۱۸ را مشاهده کنید).

^۱ -typic Hapludolls

^۲ -Residual forms

جدول ۱۳-۱۸ اشکال ۶ فلز سنگین که در خاک لوم شنی گرینفیلد^۱ (لومی درشت، مخلوط، ترمیک تپیک هاپلوزرال) که ۴۵ تن درهکتار سالانه برای ۵ سال لجن فاضلاب دریافت داشته است.

درصد عناصر در هر شکل						اشکال
Zn	Pb	Ni	Cu	Cr	Cd	
۲	۱	۵	۲	۱	۱	قابل تبادل / جذب شده
۲۸	۳	۲۴	۳۴	۵	۲۰	پیوند آلی
۳۹	۸۵	۳۳	۳۶	۱۹	۶۴	کربنات ها / اکسید آهن
۳۱	۱۲	۴۰	۲۹	۷۷	۱۶	اشکال باقی مانده

مواد شیمیایی حاصل از سایر منابع

آرسنیک در خاک باغستان ها به دنبال سال ها استعمال آفت کش های حاوی آرسنیک تجمع پیدا کرده است. آرسنیک در اشکال آنیونی (مثلاً H_2AsO_4^-) همانند فسفات ها جذب هیدروکسید آهن و آلومینیوم به خصوص در خاک های اسیدی می گردد. به رغم ظرفیت اکثر خاک ها برای تثبیت آرسنات ها، اضافه کردن آفات های آرسنیک می تواند سبب ایجاد سمیت برای نباتات حساس و کرم های خاکی گردد. سمیت آرسنیک می تواند با اضافه کردن سولفات های روی، آهن و آلومینیوم که سبب بی حرکت نمودن آرسنیک در شکل های غیر قابل استفاده می شوند، کاهش یابد. سمیت خاک ها به وسیلهی سرب عمدتاً از هوای حاوی سرب دودکش خودروها و رنگ و گردوخاک حاصل از کارهای چوبی با پوشش رنگدانه های قدیم سربی حاصل می شود. در فاصله ی ۱۰۰ متری بزرگراه های عمده، نزدیک مراکز شهری و در خاک نزدیک منازل قدیمی سرب بیشترین تراکم را دارد. مقداری سرب در روی پوشش گیاهی رسوب یافته و بعضی دیگر مستقیماً به داخل خاک می رسد. در هر حال بیشتر سرب به صورت کربنات ها و سولفید های نامحلول و یا در ترکیب با اکسید های آهن، آلومینیوم، و منگنز بدون حرکت در خاک باقی می ماند (جدول ۱۳-۱۸ را مشاهده کنید). بنابراین، سرب عمدتاً برای گیاهان غیر قابل استفاده بوده اما سبب آسیب رسیدن به بچه های می شود که خاک آلوده را در دهان خود می گذارند.

آلودگی خاک به وسیلهی بُر می تواند از آب آبیاری دارای مقادیر زیاد بُر استفاده از کود های شیمیایی، و یا خاکستر کارخانه های مولد برق ناشی گردد. بُر می تواند به وسیلهی مادهی آلی و رس ها جذب شود در این حالت نیز، به جز در خاک های دارای pH بالا برای گیاهان قابل جذب می باشد. بُر در خاک ها نسبتاً محلول بوده و مقادیر سمی آن، به خصوص در خاک های شنی اسیدی دچار آبتویی می شود. سمیت بُر معمولاً به صورت موضعی قلمداد شده و احتمالاً بسیار کم اهمیت تر از کمبود این عنصر است.

سمیت فلور نیز معمولاً موضعی است. فلور در آب مشروب احتشام و بخار حاوی فلوراید در بخارات حاصل از فراوری های صنعتی اغلب در حد سمیت می باشند. بخارات می توانند مستقیماً به وسیلهی احتشام جذب گردیده، و یا بر روی گیاهان مجاور آن ها رسوب یابند. اگر فلور به وسیلهی خاک جذب شود جذب آن برای گیاه محدود می گردد. فلور تشکیل شده در خاک ها بسیار نامحلول بوده و در صورت تأمین آهک به مقدار کافی در خاک، محلولیت آن به کمترین مقدار می رسد.

آلودگی جیوه در بستر دریاچه ها و اراضی باتلاقی سبب تجمع آن ها در حد سمیت برای گونه های خاصی از ماهی می شود. اشکال غیر محلول جیوه در خاک ها معمولاً برای گیاهان و در نتیجه حیوانات قابل استفاده نبوده و به وسیلهی ریز جانداران خاک به یک شکل آلی (متیل مرکوری) تبدیل می شوند، متیل مرکوری کاملاً محلول بوده و برای جذب گیاهان و حیوانات قابل استفاده می باشد. با بالا رفتن در زنجیره غذایی متیل مرکوری در بافت های چربی تجمع می یابد تا این که مقدار آن در بدن ماهی به حدی می رسد که برای انسان دارای سمیت می گردد و این نشان می دهد که چگونه واکنش ها در خاک می توانند بر مسمومیت انسان ها تأثیر بگذارد.

۱۸-۱۰ جلویی و حذف آلودگی عناصر شیمیایی معدنی

سه روش اولیه برای کاهش آلودگی خاک به وسیلهی ترکیبات سمی معدنی عبارتند از :

(۱) حذف و یا کاهش شدید مصرف مواد سمی در خاک

^۱ -Greenfield Sandy loam(Coarse loamy, Mixed, Thermic Typic Haploxeralfs)

(۲) بی‌حرکت نمودن مواد سمی به وسیله مدیریت خاک برای جلوگیری از حرکت آن به داخل غذا، و منابع آب

(۳) در صورت آلودگی شدید، حذف مواد سمی به وسیله پاک کردن شیمیایی، فیزیکی و زیستی

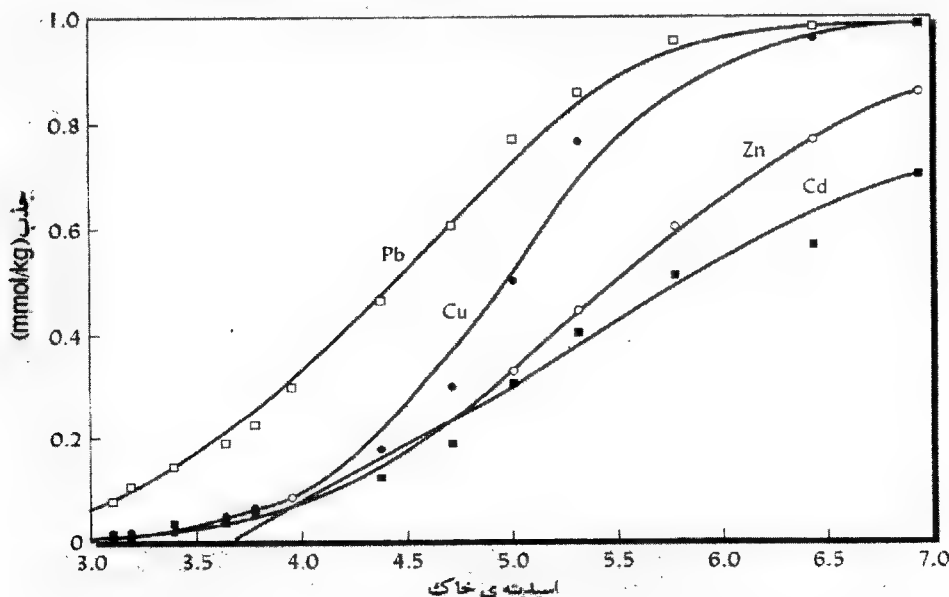
کاهش استعمال در خاک

اولین روش نیازمند اقداماتی برای کاهش آلودگی هوا از فعالیت کارخانه‌ها و دودکش خودروها و بارکش‌ها می‌باشد. سیاستمداران باید خاک را یک منبع طبیعی مهم دانسته که ممکن است در صورت عدم ممانعت از آلودگی ناشی از اضافه کردن تصادفی سموم معدنی دچار خسارت گردد. همین‌طور، باید کاهش منطقی در استفاده آگاهانه مواد سمی از طریق آفت‌کش‌ها، کودهای شیمیایی و آب آبیاری و پسماند جامد به عمل آید.

از حرکت بازداشتن مواد سمی

مدیریت خاک و آب می‌تواند در کاهش چرخه مداوم عناصر معدنی سمی مؤثر باشد. این امر عمدتاً با نگهداری عناصر غذایی در خاک و کاهش جذب آن‌ها به وسیله گیاهان انجام می‌شود. خاک به مقصد نهایی مواد سمی تبدیل شده و بنابراین، با از تحرک بازداشتن مواد سمی چرخه خاک-گیاه-حیوان (انسان) را که سم‌ها از طریق آن اثر خود را اعمال می‌کنند، قطع می‌کند. برای مثال، بسیاری از این عناصر در صورت نگهداری pH نزدیک خشتی و یا بالاتر از آن به شکل کم‌تحرک با قابلیت استفاده کم باقی خواهند ماند (شکل ۱۳-۱۸). آهک‌دادن خاک‌های خیلی اسیدی سبب تسریع در عدم تحرک عناصر سمی خواهد شد. بنابراین، در مقررات الزامی است که pH اراضی که در آن‌ها لجن فاضلاب استعمال شده است در حدود ۶/۵ و یا بالاتر نگهداری شود.

زه‌کشی خاک‌های مرطوب نیز باید سودمند باشد، زیرا اشکال اکسیدشده چند عنصر سمی در مقایسه با اشکال احیا شده آن کمتر محلول و قابل استفاده برای جذب گیاه است. هرچند عکس این قضیه در مورد کرم، که عمدتاً در شکل Cr^{3+} و Cr^{6+} یافت می‌شوند صادق می‌باشد. کرم ۶ ظرفیتی، ترکیباتی ایجاد می‌کند که در دامنه زیادی از pH فعال بوده و برای انسان بسیار سمی است. کرم ۳ ظرفیتی، تشکیل اسید و هیدروکسید می‌دهد که به استثنای خاک‌های خیلی اسیدی کاملاً بدون تحرک می‌باشند. بنابراین، احیاء Cr^{6+} به Cr^{3+} در خاک‌های آلوده به کرم مطلوب است. خوشبختانه، بخش فعال ماده‌ی آلی خاک در احیا کرم بسیار مؤثر بوده به نظر نمی‌رسد Cr^{3+} به محض تشکیل اکسید شده (شکل ۱۴-۱۸).

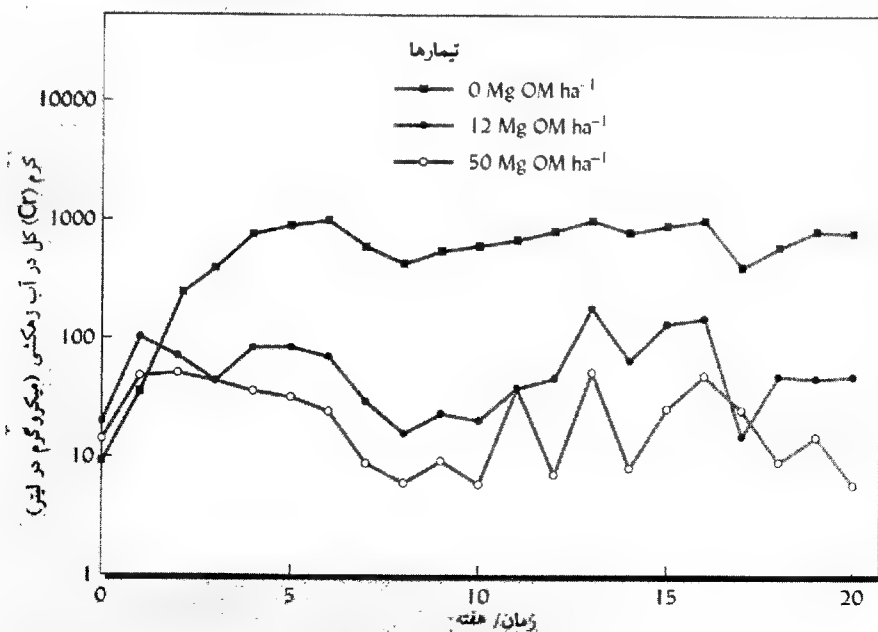


شکل ۱۳-۱۸ اثر اسیدیته خاک بر جذب چهار فلز سنگین. نگهداری pH نزدیک خشتی سبب بالاترین جذب سطحی هر یک از این عناصر فلزی به خصوص مس و سرب خواهد شد. خاک تیپیک پلودولت^۱ بوده است.

^۱ -Typic Paleudult

کاربرد فسفات به مقدار زیاد قابلیت استفاده بعضی از کاتیون‌های فلزی را کاهش داده اما ممکن است اثر عکس بر آرسنیک که در شکل آتیونی یافت می‌شود، داشته باشد. آبشویی ممکن است در حذف پر اضافی مؤثر باشد، گرچه حرکت مواد سمی از خاک به آب ممکن است دارای منفعت واقعی نباشد.

در انتخاب گیاهان برای کشت در خاک‌های آلوده با فلزات باید احتیاط لازم به عمل آید. معمولاً گیاهان مقدار بیشتری از فلزات را به برگ‌های خود در مقایسه با میوه و بذرها انتقال می‌دهند (جدول ۱۶-۱۸ را مشاهده کنید). بنابراین، بالاترین خطر آلودگی در زنجیره غذایی در سبزی‌های برگ‌مانند کاهو و اسفناج، و یا گیاهان علوفه‌ای خورده‌شده به وسیله احشام وجود دارد.



شکل ۱۴-۱۸ اثر افزودن کود گاوی خشک شده (OM) بر روی کرم در زهاب از یک خاک آلوده به کرم. اکسایش کود دامی سبب احیای Cr^{6+} متحرک به Cr^{3+} نسبتاً غیر متحرک شد. به مقیاس لگاریتمی Cr در آب توجه کنید. خاک بافت درشت تپیک توری پسمانت^۱ در کالیفرنیا بود.

پالایش زیستی به وسیله گیاهان دارای فوق تراکم فلزات^۲

گیاهان خاص که در خاک‌های دارای مقادیر خیلی زیاد فلزات به طور طبیعی، تحول یافته‌اند قادرند سبب تمرکز غلظت فوق‌العاده زیاد عناصر فلزی، بدون هرگونه اثرات مسمومیت در خود گردند گیاهانی یافت شده‌اند که بیشتر از ۲۰۰۰۰ میلی گرم نیکل، ۴۰۰۰۰ میلی گرم روی و ۱۰۰۰ میلی گرم کادمیم را در هر کیلوگرم از وزن خشک خود تمرکز می‌دهند. در حالی که این گیاهان با فوق تراکم فلزی دارای خطرات خیلی شدیدی برای سلامتی در صورت خورده شدن به وسیله انسان و دام می‌باشند، سبب تسهیل یک نوع پاک‌سازی در خاک‌های آلوده با فلزات می‌شوند.

اگر ژنوتیپ‌هایی از این گیاهان با قدرت رشد زیاد یافت گردند، ممکن است از آن‌ها برای جدانمودن فلزات از خاک‌های آلوده استفاده کرد. برای مثال، گیاهان متعددی از جنس *Thlaspi* در خاک‌های آلوده ناشی از بخارات ذوب فلزات کشت شده‌اند (شکل ۱۵-۱۸). این خاک‌ها چنان آلوده شده‌اند که در واقع به صورت بایر می‌باشند. با تجمع بیش از ۳۰۰۰۰ میلی گرم روی در هر کیلوگرم وزن (حدود ۳ درصد) گیاهان *Thlaspi* که در این خاک‌ها کشت شده‌اند پس از برداشت مقادیر زیادی از فلزات در خاک درو شوند. اندام گیاهی چنان غلظت فلزی پیدا کرده است که می‌تواند به صورت مخزنی برای استخراج فلز به کار رود. این و دیگر سازوکارهای پالایش زیستی برای فلزات (مانند احیای زیستی کرم و سلیم که قبلاً بحث گردید) برای پاک کردن خاک‌های خیلی آلوده بدون نیاز به حفاری‌های گران و

^۱ - Torripsamments

^۲ - Metal Hyperaccumulating Plants

تخریب‌کننده و روش‌های آبتویی خاک بسیار امیدبخش می‌باشند. سازوکارهای توارثی و مهندسی برای معرفی گیاهان پرمحصول با فوق تراکم فلزی، که بتوانند مقادیر زیادی از این فلزات سنگین آلاینده را از خاک خارج کنند مورد استفاده قرار گرفته است. برای نمونه تغییرات شدید توارثی در تجمع فلزات سنگین به وسیله نژادهای مختلف خردل آلبی^۱ توان لازم را برای تولید گیاهان جمع‌کننده اصلاح شده ارائه نموده است. همچنین تحقیقاتی برای جای‌گذاری ژن‌های مسوول تجمع مواد آلاینده در سایر محصولات پر تولید مانند کُلا^۲ و خردل هندی^۳ در حال انجام است.

ترکیبی از کیلات‌ها و پاک‌سازی گیاهی برای جداسازی سرب از خاک‌های آلوده به کار رفته است. این عنصر که به مقدار ناچیزی برای گیاهان قابل استفاده است، با کانی‌ها و ماده‌ی آلی به شدت وارد پیوند می‌شود. کیلات‌ها سبب حل شدن سرب، و گیاهان مانند خردل هندی برای جذب و جداسازی آن مورد استفاده قرار می‌گیرند.



شکل ۱۵-۱۸ *Thlaspi caerulescens* یک گیاه با فوق تجمع کادمیم و روی که در خاک‌های آلوده‌ی ذوب فلزات در پالمتون پنسیلوانیا می‌روید. گز رش شده است که این نبات تا ۴ درصد روی را در اندام‌های خود (بر اساس وزن خشک) جمع می‌کند. تحقیقات با چنین گیاهان با هدف تکامل فناوری‌ها برای جداسازی زیستی و بازیافت فلزات از خاک‌های خیلی آلوده در حال انجام است.

۱۱-۱۸ مراکز دفن زباله

دیدار از چاله‌های دفن زباله محلی هرکس را به اسراف موجود در جوامع امروزی متقاعد می‌سازد. در آمریکا ۲۵۰ میلیون تن زباله‌های شهری هرسال به وسیله‌ی مردم ایجاد می‌شود. اکثر این مواد زائد (۷۰ درصد) دارای سرشت آلی بوده و بیشتر شامل کاغذ، مقوا و پس‌مانده‌های مزارع (علف، برگ‌ها و بقایای هرس درختان) می‌باشند، ۳۰ درصد بقیه عمدتاً شامل مواد غیرقابل تجزیه‌ی زیستی مانند شیشه، فلزات و پلاستیک است. هم‌اکنون به‌رغم ارتقای تلاش‌های بازچرخ مواد، بخش اعظم این مواد هنوز در داخل زمین دفن می‌شوند (شکل ۱۶-۱۸).

مسئله‌ی ضایعات جامد

ما می‌دانیم که کل مسئله دفع ضایعات می‌تواند در مرحله اول با ایجاد ضایعات کمتر به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش یابد. مرحله‌ی دوم امکان حذف اکثر مشکلات همراه با دفع ضایعات با دو روش ساده می‌باشد: (۱) نگهداری فلزات، شیشه پلاستیک و کاغذ به‌طور جداگانه در منازل برای سهولت بازچرخ، و (۲) کمپوست کردن ضایعات مزارع، ضایعات خوراکی و بعضی از محصولات کاغذی می‌باشد. محصولات کمپوست شده از تعدادی ضایعات شهری به‌طور موفقیت‌آمیزی به‌عنوان مواد اصلاح‌کننده‌ی سودمند مصرف می‌شود (فصل ۷-۱۶ را مشاهده کنید). بخش کوچکی از ضایعات خطرناک باقی‌مانده می‌توانند بعداً رفع سمیت شده و یا متراکم گردیده و از تحرک باز بمانند.

^۱ -Alpine pennycress

^۲ -Canola

^۳ -Indian mustard

واقعیت کنونی این است که اکثر زباله‌های جامد شهری در خاک دفن شده و احتمالاً تا چندسال آینده نیز به همین منوال دفع گردند. در گذشته، زباله‌ها را در چاله‌های بازریخته و اغلب آتش می‌زدند. واژه‌ی چاله زباله به این خاطر به وجود آمد که زباله‌ها اکثراً در اراضی پست ماندایی تل‌انبار می‌شد، به طوری که نهایتاً تجمع آن‌ها سبب پرشدن اراضی پست و ایجاد مناطق مرتفع برای استفاده‌هایی مانند بوستان شهری و سایر امکانات می‌گردید. استقرار چاله‌های زباله در اراضی مرطوب دیگر روش قابل قبولی نیست.

دو نوع اصلی طراحی چاله‌های زباله

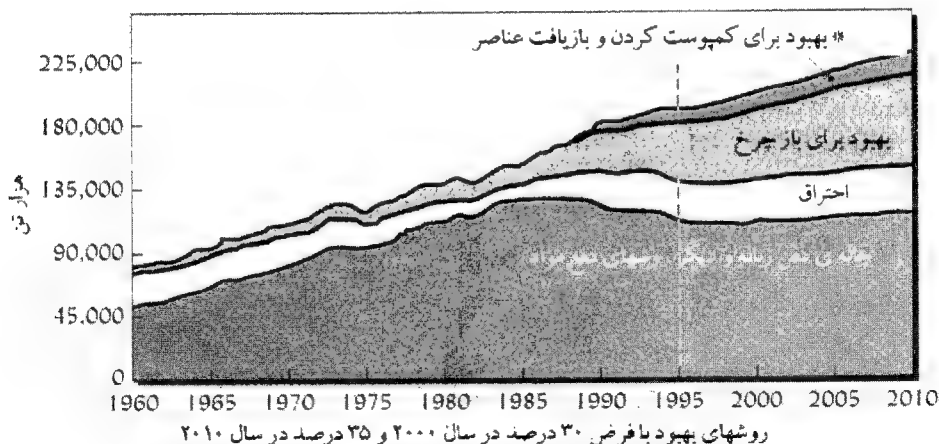
هر چند طرح چاله زباله با توجه به خصوصیات محل و نوع زباله متفاوت می‌باشد، دو نوع اصلی چاله زباله قابل تشخیص است (شکل ۱۷-۱۸) که عبارتند از: (۱) چاله‌های دفع زباله با کاهش آلودگی و یا بدون امنیت، و (۲) چاله دفن زباله مجهوس و یا دارای امنیت، ابتدا چهره‌های اصلی هر یک را به اختصار شرح می‌دهیم.

چاله‌های زباله با کاهش آلودگی

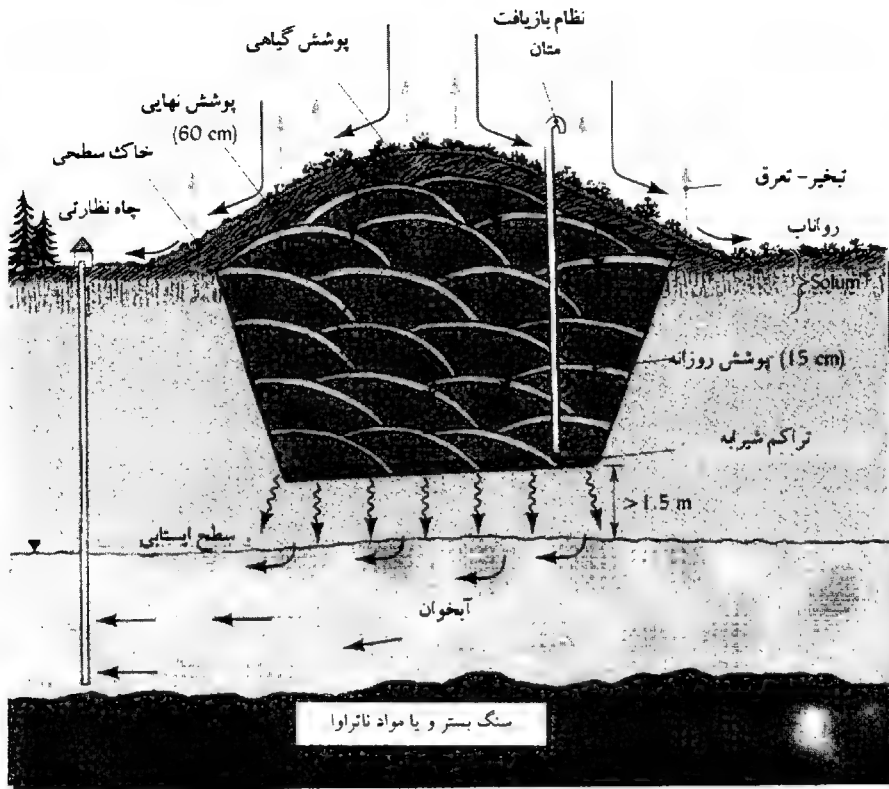
هدف این چاله‌های زباله نگهداری زباله‌های بی‌خطر شهری در یک حالت بهداشتی و جلوگیری از پخش شدن آن‌ها به وسیله‌ی باد و حیوانات، و نهایتاً پوشاندن آن‌ها به مقدار کافی برای ایجاد پوشش گیاهی دوباره و استفاده مجدد از منطقه می‌باشد. به مقداری از آب باران اجازه داده می‌شود که از داخل زباله فرونشست داشته و به آب زیرزمینی برسد. فرایند طبیعی وابسته به کاهش آلودگی شیرابه قبل از رسیدن آن به آب زیرزمینی است. خاک‌ها در این کاهش آلودگی طبیعی از طریق فیلتر کردن فیزیکی، جذب، تجزیه زیستی و ترسیب شیمیایی نقش‌های عمده‌ای ایفا می‌کنند (جدول ۱۴-۱۸).

نیازهای خاک: پیداکردن محلی با خصوصیات خاک مناسب برای این نوع چاله‌ی زباله اساسی است. حداقل ۱/۵ متر خاک باید بین کف چاله و بالاترین سطح آب زیرزمینی وجود داشته باشد. این لایه خاک باید از تراوایی متوسطی برخوردار باشد. چه، در صورت تراوایی بسیار (شنی، سنگ‌ریزه‌ای و یا با ساختمان خوب) شیرابه امکان می‌یابد که چنان با سرعت از خاک‌رخ عبور کند که کاهش آلودگی اندکی صورت پذیرد. خاک باید ظرفیت تبادل کاتیونی کافی برای جذب کاتیون‌ها (Ni^{2+} , K^+ , NH_4^+ , Cd^{2+} , Na^+ و سایر کاتیون‌ها)، که از زباله آزاد می‌شوند داشته باشد. اگر خاک ناتراوا باشد، شیرابه تراکم پیدا کرده و از چاله سرریز کرده، و به طور جانبی نشت پیدا خواهد کرد.

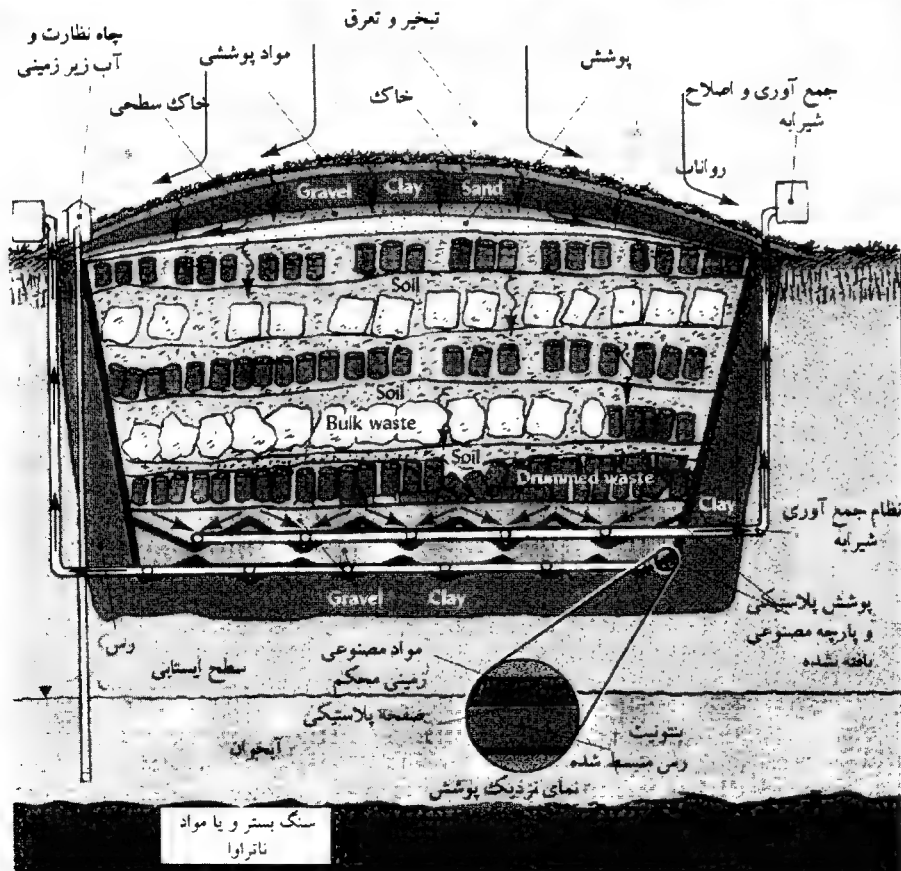
محل انتخاب شده برای چاله دفن زباله با کاهش آلودگی طبیعی باید دارای خاک‌های مناسب برای پوشش روزانه و پوشش نهایی زباله باشد (شکل ۱۸-۱۸ الف). در پایان هر روز کاری، زباله‌ها باید به وسیله‌ی یک لایه خاک نسبتاً نفوذناپذیر پوشیده گردند. پوشش نهایی چاله زباله از پوشش روزانه بسیار سترتر، و شامل یک لایه ضخیم خاک بافت ریز با نفوذپذیری کم در زیر یک لایه نازکتر خاک سطحی لومی می‌باشد. لایه نفوذناپذیر برای به حداقل رساندن فرونشست آب به داخل چاله‌ی زباله و خاک سطحی برای ایجاد پوشش گیاهی مناسب است که از فرسایش خاک جلوگیری و آب تنها از طریق تبخیر و تفرق زیاد مصرف می‌شود. کل نظام برای محدود کردن مقدار آب نافذ در داخل زباله طراحی می‌شود، به طوری که مقدار شیرابه آلوده ایجاد شده از ظرفیت کاهش آلودگی خاک در فاصله‌ی کف چاله و آب زیرزمینی بیش نگردد.



شکل ۱۶-۱۸ روند تاریخی و پیش‌بینی شده در مدیریت زباله‌های جامد شهری در آمریکا. خاک‌ها نقش اصلی را در کمپوست کردن و انتخاب نوع چاله‌ی زباله دارند.



شکل ۱۷-۱۸ دو نوع چاله‌ی زباله. چاله‌ی زباله با کاهش طبیعی آلودگی (بالا) عمدتاً وابسته به فرایندهای خاک برای کاهش آلودگی در شیرابه، قبل از رسیدن آن‌ها به آب زیرزمینی است. چاله‌های زباله محصور (پایین) برای ضایعات خیلی خطرناک و یا وقتی شرایط خاک برای چاله نوع اول مناسب نباشد مورد استفاده قرار می‌گیرد. این چاله برای جمع‌آوری کلیه شیرابه‌ها و پمپ‌کردن آن به بیرون برای ذخیره و اصلاح آن طراحی شده است.



جدول ۱۴-۸ فهرست جزئی آلاینده‌های آلی و معدنی در شیرابه‌ی اصلاح‌نشده‌ی چاله‌ی زباله‌ی جامد شهری شهر کلف (انتاریو کانادا). منابع شاخص این آلاینده‌ها در چاله‌ی زباله و سازوکاری که به‌وسیله‌ی آن خاک می‌تواند آلودگی را کاهش دهد نیز ارائه شده است. اگرچه شیرابه‌ها در بین چاله‌های زباله بسیار متفاوتند آلاینده‌ها در این صورت نماینده‌ی خوبی می‌باشند.

مواد شیمیایی	غلظت میکروگرم درلیتر	منابع معمول	سازوکار کاهش آلودگی
مواد آلی			
COD ^۱ برای مواد آلی عمومی	۱۴۳۰۰	زباله‌های پوسیده مزارع، کاغذ و آشغال	تجزیه زیستی
بنزن	۲۰	چسپ‌ها، دافع بوی بد ^۲ ، حلال‌ها	تصفیه‌کردن، تجزیه زیستی و تولید متان
دی کلرواتان	۴۰۶	چسپ‌ها، و پاک‌کننده روغن	تجزیه زیستی و رقیق کردن
تولن	۱۶۵	چسپ‌ها، پاک‌کننده نقاشی، شامپوی شوره بر و پاک‌کننده کاربراتور	تجزیه زیستی و رقیق کردن
گزیلن	۲۱۲	مواد افزودنی در نفت و سوخت، نقاشی و پاک‌کننده کاربراتور	تجزیه زیستی و رقیق کردن
فلزات			
نیکل	۰/۳۸	باتری‌ها، الکترودها و شمع ماشین	جذب و ترسیب
کرم	۰/۱۴	پاک‌کننده، نقاشی، لیتولوم، باتری	جذب، ترسیب و تبادل
کادمیم	۰/۰۳	نقاشی، باتری و پلاستیک	جذب و ترسیب

چاله‌های محبوس و یا دارای ایمنی

ساخت نوع دوم چاله‌های دفع زباله بسیار پیچیده‌تر و گران‌تر می‌باشد، اما ساخت آن بسیار کمتر وابسته به یافتن خاک‌های مناسب است. به‌جای وابستگی به خاک برای پاک کردن آلودگی قبل از رسیدن شیرابه به آب زیرزمینی، طراحی این چاله‌های محبوس به‌منظور نگهداری تمام شیرابه می‌باشد. برای کامل کردن نگهداری شیرابه یک و یا چند لایه‌ی غیرقابل نفوذ در کناره‌ها و کف چاله‌ی زباله ایجاد می‌شود. این لایه‌ها معمولاً از رس قابل انبساط (برای نمونه بتونیت) ساخته می‌شوند که با مرطوب شدن انبساط یافته و نفوذپذیری بسیار کند می‌شود. ژئومبران‌های^۳ پلاستیکی آب‌بند و پارچه‌های مصنوعی بافته شده سفت (ژئوتکس تایل^۴) (نیز در ساختن این لایه به‌کار می‌روند. یک لایه سنگ‌ریزه و یا شن برای ممانعت لایه از سوراخ شدن تصادفی، و یک سامانه از لوله‌های مشبک و پمپ برای جمع‌آوری شیرابه از کف چاله‌ی زباله نیز تعبیه می‌شوند. شیرابه جمع‌آوری شده در محل و یا خارج از آن اصلاح می‌شود. نکته‌ی اصلی درمورد خاک نیاز به منابع مناسب شن و سنگ‌ریزه، مواد رسی برای ایجاد پوشش نهایی و خاک سطحی برای ایجاد پوشش محافظ می‌باشد (شکل ۱۸-۱۸ ب را مشاهده کنید).

اثرات زیست‌محیطی چاله‌های زباله

امروزه مقررات لازم می‌سازند که زباله‌ها در چاله‌های با موقعیت و طرح بهداشتی دقیق دفن گردند. در نتیجه تعداد چاله‌های دفع زباله در آمریکا از ۱۶۰۰۰ در سال ۱۹۷۶ به کمتر از ۲۵۰۰ عدد در سال ۱۹۹۸ کاهش یافته است. نگرانی عمده درمورد چاله‌های زباله آلودگی بالقوه‌ی آب ناشی از آب باران است که از داخل زباله‌ها به عمق نفوذ یافته، و تمام آلاینده‌های آلی و معدنی را حل و با خود انتقال می‌دهد (جدول ۱۴-۱۸ را مشاهده کنید). علاوه بر نیاز اکسیژن ماده‌ی آلی به‌طور عام، بسیاری از آلاینده‌ها در شیرابه چاله‌ی زباله بسیار سمی بوده و در صورت رسیدن آن‌ها به آب زیرزمینی زیر چاله‌ی زباله یک مشکل جدی آلودگی ایجاد می‌کنند.

علاوه بر کارایی استفاده از منابع، اجتناب از مسائل خاص مدیریت چاله‌های دفن زباله دلیل دیگری است که اجزای آلی آشغال (عمدتاً کاغذ، سرشاخه هرس شده و ضایعات غذایی) باید برای تولید مواد اصلاحی خاک به‌جای دفن شدن، کمپوست گردند. اول، بعد از آن که این مواد در چاله‌ی زباله‌ی پر شده تجزیه شدند، بخشی از حجم خود را ازدست داده و سبب نشست چاله و فرونشینی سطح آن می‌شود. این ناپایداری فیزیکی استفاده از اراضی را پس از اتمام چاله‌ی زباله بسیار محدود می‌کند. دوم، تجزیه‌ی زباله‌ی آلی سبب ایجاد محصولات

^۱ -Chemical Oxygen Demand

^۲ -Deodorants

^۳ -Geomembrane

^۴ -Geotextile

محلول و گازی نامطلوب می‌شود. در طول یک هفته تجزیه، اکسیژن موجود در چاله‌ی زیاله مصرف کرده و سوخت‌وساز غیرهوازی صورت می‌گیرد که سبب تبدیل سلولز موجود در ضایعات کاغذ به اسید بوتیریک، اسید پروپیونیک و سایر اسیدهای آلی فرار و همین‌طور اکسیژن و گاز کربنیک می‌شود. پس از یک ماه و یا بیشتر، باکتری‌های تولید کننده متان غلبه پیدا کرده، و برای چندین سال، و یا حتی چندین ده سال یک مخلوط گازی $\frac{1}{2}$ با گاز کربنیک و $\frac{1}{2}$ متان (گاز چاله‌ی زیاله نامیده می‌شود) تولید می‌شود.

تولید گاز متان بر اثر تجزیه‌ی غیرهوازی ضایعات آلی در یک چاله می‌تواند خطر خیلی جدی انفجار این گاز را در صورت عدم جمع‌آوری آن و سوزاندن آن به‌عنوان منبع انرژی (شکل ۱۸-۱۸ را مشاهده کنید) فراهم کند. وقتی خاک نسبتاً قابل نفوذ است ممکن است گاز به‌داخل زیرزمین‌ها تا چند صد متر دور از چاله دفن زیاله انتشار یابد. تعدادی از انفجارات مرگ‌آور بر اثر این فرایند به‌وجود آمده است. تجزیه‌ی غیرهوازی در چاله‌های زیاله سبب نشر سایر گازهای خطرناک نیز می‌شود، که اثرات آن‌ها کمتر شناخته شده می‌باشد.

۱۲-۱۸ خاک به‌عنوان محلی برای دفع ضایعات آلی

در آمریکا، سالانه حدود ۲۵۰ میلیون تن ضایعات خانگی هر سال ایجاد می‌شود به این رقم باید حدود ۲ بیلیون تن از ضایعات حیوانات اهلی و همین‌طور میلیون‌ها تن از ضایعات آلی حاصل از کارخانه‌های فرآوری پارچه و غذا و فعالیت‌های صنعتی را اضافه کرد. از نظر زیست محیطی دیگر قابل قبول نیست که این ضایعات را با تل‌انبار نمودن در آبراهه‌ها و اقیانوس‌ها و یا با سوزاندن آن‌ها و آزاد شدن محصولات حاصل از واکنش به نیوار دفع کنیم. خاک یک مقصد جایگزین را برای دفع آن‌ها عرضه می‌کند، که به‌طور بسیار گسترده مورد استفاده است. این ضایعات آلی سبب بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک شده و می‌توانند عناصر غذایی را برای افزایش رشد گیاه تهیه کنند. این اثرات مثبت احتمالاً سبب مصرف هرچه بیشتر این فضولات در خاک می‌شود. در ضمن، وقتی فضولات در مقادیر اضافی استعمال می‌شوند توان تولید خاک بر اثر تراکم نمک‌ها کاهش یافته و یا ممکن است آلودگی خاک و آب صورت پذیرد.

۱۳-۱۸ مواد پرتوزا در خاک

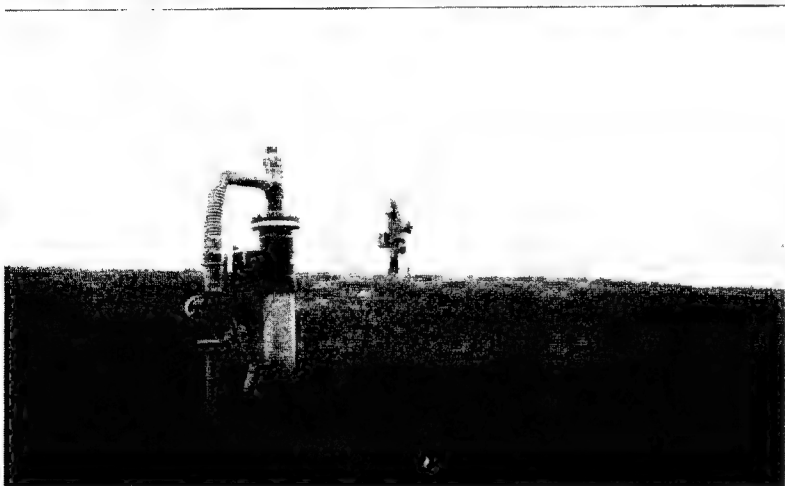
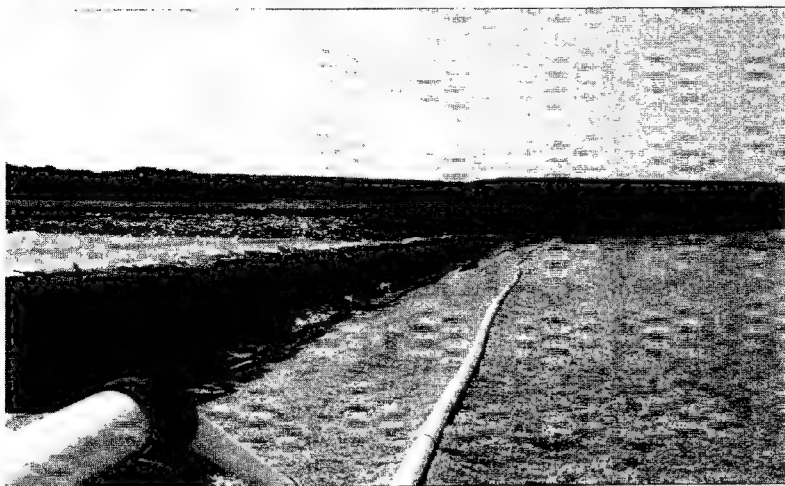
آزمایش‌های شکافت هسته‌ای به انضمام سلاح‌های اتمی مورد آزمایش و نیروگاه‌های برق اتمی منبع دیگری از آلودگی خاک را فراهم می‌سازند. به‌عنوان پرتوزای طبیعی خاک (مانند ^{14}C , ^{87}Rb , ^{40}K) تعدادی از محصولات شکافت هسته‌ای نیز اضافه شده است هرچند فقط ۲ ماده‌ی پرتوزا دارای عمر طولانی کافی دارای اهمیت در خاک می‌باشند استرانسیوم ۹۰ (با نیمه‌عمر ۲۸ سال) و سزیم ۱۳۷ (با نیمه‌عمر ۳۰ سال). میزان متوسط این مواد پرتوزا در آمریکا حدود ۳۸۸ میلی‌کوری در کیلومتر مربع (mCi/km^2) برای استرانسیوم و ۶۲۰ میلی‌کوری در کیلومتر مربع برای سزیم می‌باشد. رقم مشابه برای مواد پرتوزای طبیعی (mCi/km^2) $40\text{ k}-51800$ می‌باشد. این میزان‌های عادی مواد پرتوزای حاصل از شکافت چندان زیاد نیست که خطرناک باشد. حتی در اوج آزمایش‌های هسته‌ای خاک‌ها باعث بالارفتن قابل توجه این مواد پرتوزا در زنجیره غذایی نشدند. ریزش از نیوار بر روی پوشش گیاهی، منبع عمده‌ی مواد پرتوزا در زنجیره‌ی غذایی می‌باشد. بنابراین، فقط در حوادث مصیبت‌بار تولید محصولات شکافت هسته، میزان‌های سمی ^{90}Sr و ^{137}Cs قابل انتظار است. خوشبختانه، تحقیقات قابل ملاحظه‌ای بر رفتار این دو ماده‌ی پرتوزا در خاک انجام گرفته است.

استرانسیوم-۹۰

استرانسیوم ۹۰ بسیار همانند کلسیم در خاک‌ها عمل می‌کند. زیرا از نظر شیمیایی بسیار وابسته به آن است. این ماده‌ی پرتوزا به‌صورت اشکال محلول از نیوار وارد خاک شده و به‌سرعت جذب بخش کلویدی آلی و معدنی می‌شود. این عنصر در تبادل کاتیونی قرار گرفته و همانند کلسیم برای نباتات قابل جذب است. این امکان که استرانسیوم در همان واکنش‌های گیاهی همانند کلسیم شرکت داشته باشد، احتمالاً می‌تواند دلیل این واقعیت باشد که با وجود مقادیر زیاد کلسیم در خاک، تمایل خاک برای جذب استرانسیوم کاهش می‌یابد. پژوهش‌هایی برای بهره‌گرفتن از جذب گیاهی مواد پرتوزا در عملیات پاک‌سازی گیاهی^۱ در دست انجام است. گیاهانی مانند آفتاب‌گردان برای جداسازی سزیم ۱۳۷- و استرانسیوم ۹۰- از یک چاله‌ی نزدیک محل فاجعه‌ی چرنوبیل در کشور اُکراین مورد استفاده است. از خردل‌های هندی نیز در همان نزدیکی‌ها برای پاک‌سازی این آلاینده‌های پرتوزا استفاده می‌شود.



شکل ۱۸-۱۸ فناوری نوین چاله‌های زباله و فرایندهای خاک. (شکل بالا) یک بولدوزر سبب تراکم و پوشیده شدن زباله در یک چاله‌ی کاهش طبیعی آلودگی در خاک‌های عمیق با نفوذپذیری خوب. مواد خاکی برای پوشش هر روز در زمینه‌ی عکس دیده می‌شود. (مرکز) یک غشاء پوششی سیاه که با سنگریزه‌ی سفید نخودی پوشش یافته و یک لوله جمع‌آوری شیرابه در یک واحد جدید در یک چاله‌ی زباله مسدود در حال تهیه است. تپه‌های کوتاه در زمینه عکس عبارت از واحدهای تکمیل شده است که از یک پوشش گیاهی نهایی برخوردار است. (عکس زیر) چاه‌های گاز، گاز متان را از تجزیه غیرموازی در یک واحد چاله‌ی زباله تکمیل شده جمع‌آوری می‌کنند. متان برای سوخت توربین‌هایی که برق را برای عملیات دفن زباله تأمین می‌کنند مصرف شده و یا به شرکت‌های محلی تأمین برق فروخته می‌شود.



سزیم ۱۳۷

به‌رغم ارتباط سزیم با پتاسیم، سزیم در بسیاری از خاک‌ها کمتر قابل استفاده است. این ظاهر آن دلیل است که سزیم به‌وسیله‌ی ورمی‌کولیت و دیگر کانی‌های رسی لایه‌لایه‌ای تثبیت می‌شود. ماده‌ی پرتوزای تثبیت‌شده به‌صورت غیرقابل تبادل بوده و بسیاری از آن همانند پتاسیم در بین لایه‌های رس تثبیت می‌گردد. جذب سزیم به‌وسیله‌ی گیاه در این خاک‌ها بسیار محدود است. هنگامی ورمی‌کولیت و رس‌های دیگر مربوط به این گروه غایب باشند، مانند بعضی از خاک‌های گرمسیری، جذب سزیم بسیار سریع‌تر است. در هر حال خاک تمایل دارد که حرکت سزیم را به‌داخل زنجیره‌ی غذایی حیوانات و انسان کاهش دهد.

ضایعات رادیواکتیو (مواد پرتوزا)

جدا از مواد پرتوزای اضافه‌شده به خاک در نتیجه‌ی آزمایش‌های تسلیحات اتمی و حوادث (مانند حادثه‌ی چرنوبیل که در کشور آکراین اتفاق افتاد) ممکن است خاک‌ها با مواد زائد دارای میزان اندکی مواد پرتوزا که برای دفع در خاک دفن شده‌اند وارد واکنش گردد. با وصف آن‌که حتی مواد هنگام جای‌گذاری در گودال‌های کم‌عمق به‌صورت جامد باشند، انحلال و حرکت متعاقب آن در خاک تا حدی امکان‌پذیر است. پلوتونیوم، اورانیوم، امریشیوم، نپتونیم، کوریوم و سزیم از عناصری هستند که مواد پرتوزای آن‌ها در ضایعات هسته‌ای وجود دارد.

ماده‌ی پرتوزای موجود در ضایعات از نظر انحلال در آب بسیار متفاوتند، ترکیبات اورانیوم کاملاً محلول بوده و ترکیبات پلوتونیوم و امریشیوم نسبتاً نامحلول و ترکیبات سزیم از نظر انحلال در حد متوسط قرار دارند. سزیم، که یک یون دارای بار مثبت است به‌وسیله‌ی کلئیدهای خاک جذب می‌شود. به‌نظر می‌رسد که اورانیوم به‌صورت یون UO_2^{2+} وجود دارد، که آن نیز جذب خاک می‌شود. بار الکتریکی پلوتونیوم و امریشیوم بسته به سرشت هم‌تافت‌های ایجاد شده این عنصر با خاک متغیر است.

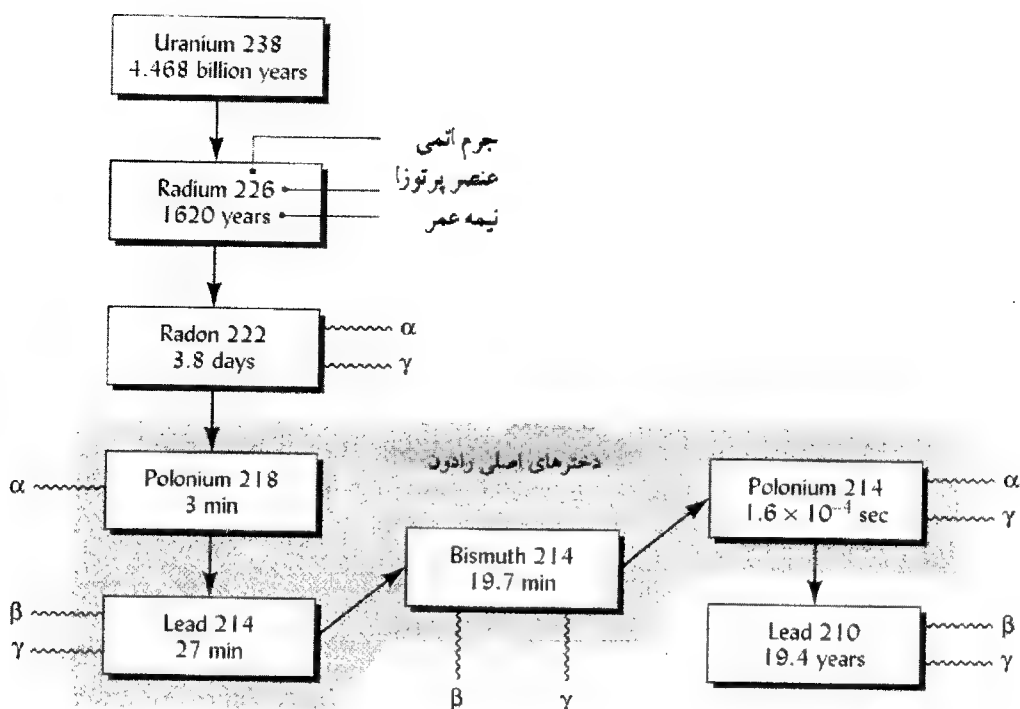
تغییرات قابل ملاحظه‌ای در جذب واقعی این مواد پرتوزا به‌وسیله‌ی گیاه در خاک وجود دارد که وابسته به خصوصیات خاک مانند pH و میزان ماده‌ی آلی می‌باشد. جذب پلوتونیوم از خاک به‌وسیله‌ی گیاه کمترین و جذب نپتونیم بیشترین و جذب امریشیوم و کوریوم متوسط می‌باشد. مقدار این عناصر در میوه و بذور نباتات کمتر از برگ آن‌هاست. و بنابراین، غذای انسان درمقایسه با علوفه کمتر در معرض آلودگی به‌وسیله‌ی مواد پرتوزا قرار می‌گیرد. از آن‌جاکه خاک برای دفن ضایعات حاوی مواد پرتوزا اندک به‌کار می‌رود، احتیاط لازم باید به‌عمل آید تا اطمینان یابیم که خصوصیات خاک از آبتوبی و یا جذب این عناصر به مقدار قابل توجه به‌وسیله‌ی گیاه ممانعت می‌کند. اطلاعات موجود در جدول ۱۵-۱۸ اختلاف در توانایی خاک‌های مختلف را برای نگهداری مواد حاصل از تجزیه‌ی اورانیوم و توریوم نشان می‌دهد. واضح است که نظارت بر نقاط انتخاب شده برای اطمینان از حداقل جابه‌جایی مواد پرتوزا به دیگر بخش‌های محیط لازم و ضروری است.

جدول ۱۵-۱۸ غلظت مواد حاصل از تجزیه‌ی اورانیوم ۲۳۸ و توریوم ۲۳۲ در ۶ رامسته‌ی خاک در لوئیزیانا. به اختلاف قابل توجه در میان سطوح جذب شده خاک‌های مختلف دقت کنید.

مواد حاصل از تجزیه‌ی Th-۲۳۲			مواد حاصل از تجزیه‌ی U-۲۳۸			تعداد نمونه	زیر رسته خاک
K-۴۰	Cs-۱۳۷	Pb-۲۱۲	Bi-۲۱۴	Pb-۲۱۴	Ra-۲۲۶		
۱۳۶	۱۶/۷	۲۷/۴	۲۸/۹	۲۷/۷	۳۷/۳	۲۲	Udults
۱۰۰	۱۰/۹	۵۰	۳۸/۱	۳۶/۷	۳۰/۴	۲۴	Aquults
۲۶۳	۱۳/۵	۵۹/۷	۳۶/۶	۳۸/۳	۵۱/۱	۳۷	Aqualfs
۶۳۶	۱۶/۱	۶۳/۸	۴۵/۲	۴۷/۶	۹۲/۲	۹۳	Aquepts
۶۰۸	۸/۷	۵۹/۵	۴۴/۷	۴۵/۸	۹۰/۴	۵۷	Aquolls
۷۸۳	۱۹/۴	۷۴/۹	۴۹	۴۹/۴	۱۳۶/۳	۱۸	Hemists

۱۴-۱۸ گاز رادون حاصل از خاک

خاک منبع اولیه گاز بدون رنگ و بدون بوی پرتوزای رادون می باشد که می تواند سبب ایجاد سرطان ریه گردد. رادون از تجزیه ی مواد پرتوزای رادیوم به وجود می آید، که خود حاصل تخریب اورانیوم است که به مقدار کمی در خاکها یافت می شود (شکل ۱۹-۱۸). میزان خطرناک رادون در خاکهای خاص که از سنگهای آذرین و رسوبات دریایی غنی از اورانیوم تشکیل می گردند، مشاهده شده است. آسیب ناشی از این گاز در سلامتی در اثر تغییر شکل محصولات حاصل از تجزیه ی مواد پرتوزا به صورت اشعه الف می باشد که می تواند در بافت های ریه انتشار یافته و سبب ایجاد سرطان گردد. رادون از طریق خاک اطراف وارد ساختمان ها و یا منازل می شود از آنجا که عایق بندی در ساختمان های نوین مانع از عبور بسته ی هوا و امکان تبادل آن با بیرون است، رادون می تواند در مقادیر خطرناک تجمع یابد. رادون معمولاً از طریق شکاف های موجود در دیوارهای زیرین و کف و از اطراف منافذ لوله های آب و گاز به داخل ساختمان ها وارد شده و در آن ها حرکت می کند. اگر آزمایش نشان دهد که میزان های نامطلوب رادون وجود دارد، ساده ترین اقدام پاک سازی شامل عایق اندود کردن تمام منافذ و ترک های ورودی است. اقدامات بیشتر شامل ساخت نظام های کامل تهویه زیر زمین ها با بیرون برای جلوگیری از تجمع میزان های ناسالم گاز رادون می باشد. از آنجا که رادون گازی خنثی است با خاک وارد واکنش نشده و خاک فقط به عنوان یک مجرا برای حرکت گاز عمل می کند. بسیار احتمال دارد که خاک های بافت درشت سبب انتقال رادون با سرعت بیشتر از خاک های بافت ریز به قسمت های زیرزمینی شوند.



شکل ۱۹-۱۸ تجزیه ی اورانیوم ۲۳۸ پرتوزا در خاکها سبب تشکیل گاز خنثی اما پرتوزای رادون می شود. گاز ذرات α و اشعه ی γ منتشر کرده و باعث ایجاد دخترهای رادون می گردد که قادرند ذرات α، β و اشعه γ منتشر کنند. ذرات α سبب خسارت به بافت های ریه گردیده و می توانند سرطان ایجاد کنند. گاز رادون سالانه سبب حدود ۱۰۰۰۰ فقره مرگ در آمریکا می شود.

۱۵-۱۸ نتیجه‌گیری نهایی

سه استنتاج را در ارتباط خاک با محیط زیست می‌توان ارائه نمود. ۱- از آن‌جاکه خاک‌ها منابع ارزشمندی هستند باید آن‌ها را از آلودگی زیست‌محیطی به‌خصوص آن‌هایی که دارای صدمات دائمی می‌باشند، محافظت کرد. ۲- به‌دلیل ظرفیت وسیع و قابل‌ملاحظه در جذب، ایجاد پیوند و تجزیه‌ی مواد اضافه‌شده، خاک‌ها سازوکارهای امیدبخشی را برای دفع و استفاده از بسیاری فضولات ارانه می‌دهند که درغیراین‌صورت سبب آلودگی دیگر بخش‌های محیط زیست می‌شوند. ۳- آلاینده‌های خاک و محصولات حاصل از تجزیه‌ی آن‌ها می‌تواند برای انسان و سایر حیوانات، درصورت انتقال آن‌ها از خاک به نبات، هوا و مخصوصاً در مخازن تأمین آب سمی باشند.

برای کسب فهم بهتر درمورد این‌که خاک‌ها چگونه باید مورد استفاده قرار گرفته، و ضمن تلاش‌های مدیریت ضایعات چگونه محافظت گردند، خاک‌شناسان بخش قابل‌ملاحظه‌ای از پژوهش‌های خود را به تلاش‌هایی در مسایل آلودگی زیست محیط اختصاص داده‌اند. به‌علاوه، خاک‌شناسان باید به گروه‌های تحقیق که به‌دنبال جستجوی راه‌های بهتر برای پاک‌کردن آلودگی زیست‌محیطی می‌باشند، مساعدت لازم را مبذول دارند. پیدا کردن محل‌هایی مناسب که خاک‌ها به‌طور مطمئن برای پاک کردن و ذخیره فضولات مورد استفاده قرار گیرند، شامل اطلاعات جغرافیایی درباره‌ی خاک‌هاست که سرفصل بخش بعدی می‌باشد.

سوالات برای مطالعه

- ۱- کدام یک از فعالیت‌های کشاورزی سبب آلودگی آب و خاک شده و چه اقداماتی برای کاهش این آلودگی‌ها باید به‌عمل آید؟
- ۲- انواع واکنش‌ها را که در آفت‌کش‌ها در خاک صورت می‌گیرد شرح دهید. مشخص کنید چه کارهایی می‌توانیم انجام دهیم که سبب انجام یا توقف این واکنش‌ها شود؟
- ۳- مسایل زیست‌محیطی همراه با دفع مقادیر زیاد لجن فاضلاب در اراضی زراعی را تشریح نموده و مشخص کنید که مسأله‌ای آلودگی چگونه می‌تواند تخفیف یابد؟
- ۴- پالایش زیستی (Bioremediation) چیست؟ مزایا و مضار آن درمقایسه با روش‌های فیزیکی و شیمیایی مدیریت ضایعات آلی کدامند؟
- ۵- اگر چه مقادیر زیادی از آن‌چه فلزات سنگین نام دارند سالانه وارد خاک می‌شوند، مقادیر نسبتاً اندکی راه خود را در خوراک انسان پیدا می‌کنند. چرا؟
- ۶- طراحی، طرز کار و مدیریت چاله‌های دفع زباله‌ی امروزی را با آن‌چه ۳۰ سال قبل استفاده می‌شد، مقایسه کنید و مشخص کنید چگونه تغییرات مزبور در آلودگی آب و خاک مؤثرند؟
- ۷- رس‌های آلی چه می‌باشند و چگونه آن‌ها برای کمک به پاک‌سازی خاک‌های آلوده شده با ترکیبات آلی غیرقطبی مورد استفاده قرار می‌گیرند؟
- ۸- ماده‌ی آلی و برخی از رس‌های سیلیکاتی بعضی از آلاینده‌ها را به‌طور شیمیایی جذب و آن‌ها را از جمله‌ی میکروبی و آبشویی از خاک حفظ می‌کنند. کاربردهای این حفاظت (مثبت و منفی) در تلاش‌های کاهش آلودگی خاک و آب چه می‌باشند؟
- ۹- کدام یک از مواد پرتوزا در آلودگی خاک و آب دارای بیشترین اهمیت بوده، و چرا آن‌ها به آسانی به‌وسیله نباتات جذب نمی‌شوند؟
- ۱۰- مزایا و مضار نسبی روش‌های دفع آلودگی در جا و غیر در جای خاک‌ها به‌وسیله ترکیبات آلی چه می‌باشند؟
- ۱۱- پالایش گیاهی (Phytoremediation) چیست، و برای کدام یک از آلاینده‌ها مفید است؟ شرح دهید.

سیمای خاک و زمین‌نمای چنین ترسیم شده
اثر هنری دانشمند خاک است.
ل. پ. ویلدینگ

فصل ۱۹

اطلاعات جغرافیایی خاک‌ها

یک ثابت بزرگ در ارتباط با خاک، متغیر بودن آن است. کسی که در ارتباط نزدیک با خاک است به‌زودی درمی‌یابد که خاک هر چیزی می‌تواند باشد به‌استثنای یکنواخت بودن. در بحث خود بر روی توسعه‌ی خاک‌رخ (فصل ۲) ما توجه خود را به تغییرات قسائم خاک، یعنی تفاوت در بین افق‌های خاک معطوف نمودیم. موضوع این فصل تغییرات افقی خاک است. خاک‌ها چگونه از یک نقطه به نقطه‌ی دیگر در زمین‌نما تفاوت می‌کنند.

برای استفاده عملی از اصول خاک‌شناسی، مدیر منابع اراضی باید نه تنها از چون و چرا ی خاک‌ها، بلکه باید از (کجای) خاک نیز آگاه باشد. اگر سازندگان یک خیابان پرواز (باند فرودگاه) بخواهند از خطرات ناشی از رس‌های منبسط‌شونده احتراز جویند، آن‌ها باید بدانند که این خاک‌های مسأله‌دار (کجا) قرار دارند. یک متخصص آبیاری احتمالاً می‌داند که کدام خصوصیات خاک برای آبیاری باصرفه لازمند. اما برای این که طرح موفقیت‌آمیز باشد او باید بداند، که خاک‌ها با این خصوصیات کجا یافت می‌شوند. تقریباً در هر طرحی که با خاک سروکار دارد، از برنامه‌ریزی یک زمین بازی تا کوددادن یک مزرعه، می‌توان از مزایای اطلاعات جغرافیایی درمورد خاک‌ها و خصوصیات خاک‌ها بهره گرفت. این فصل مقدمه‌ای است بر بعضی از ادوات که به ما می‌گویند چه چیزی در کجا قرار گرفته است.

۱۹-۱ تغییرات مکانی خاک‌ها در مزرعه

مرور سریع بر شکل ۷-۹ (تغییر تهویه از سطح یک خاکدانه تا مرکز آن) و شکل ۲۰-۱۲ (تغییرات ماده آلی از ایالت نگراس تا ایالت مینه‌سوتا) به ما خاطر نشان می‌سازد که خصوصیات خاک در تمام مقیاس‌ها متفاوتند. در این فصل ما تغییرات خاک را طی فواصلی که از نظر مدیریت خاک دارای معنی جغرافیایی می‌باشند، از چند متر تا کیلومترها مورد ملاحظه قرار خواهیم داد.

در تلاش برای تفهیم تغییرات جغرافیایی خاک‌ها و چگونگی بهترین استفاده از هر بخش از اراضی، اغلب مفید خواهد بود که هر ناحیه را از نظر ۵ عامل مؤثر در تشکیل خاک یعنی اقلیم، مواد مادری، موجودات زنده، پستی و بلندی و زمان مورد تجزیه تحلیل قرار دهیم (بخش ۲-۱۶ تا ۲-۱۷ را مطالعه کنید).

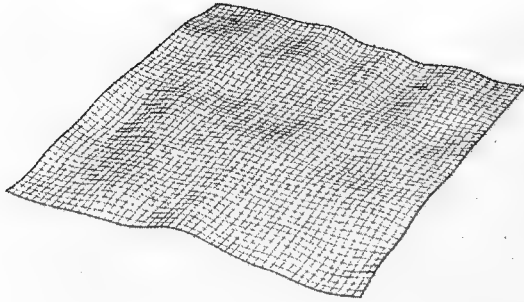
اقلیم معمولاً در تغییر خاک‌ها در مقیاس خیلی بزرگ تأثیرگذار است (اختلافات منطقه‌ای)، اما وقتی زمین‌نما شامل منابع بزرگ آب و تپه‌ها و کوه‌های قابل توجه باشد، بارندگی و دما ممکن است در فاصله‌ی ۱ کیلومتر یا کمتر به مقدار زیادی تغییر کنند. برای نمونه، اقلیمک در شیب‌های روبه‌شمال ممکن است از چند نظر با شیب‌های روبه‌جنوب فرق کند. همین‌طور مواد مادری معمولاً در حالت منطقه‌ای مقیاس بزرگ (برای مثال، فلات لسی بادرته در مقابل سنگ‌های درجا) اغلب تغییر می‌کند. اما ممکن است تفاوت‌هایی در مقیاس کوچک نیز صورت پذیرد. خاک‌شناسان باید همواره از این تغییرات محلی مواد مادری مانن نهشته‌های کوه‌رفتی در پای یک شیب و یا آبرفت‌ها به موازات رودها آگاه باشند. مزرعه نیز نیازمند مقداری آموزش زیست‌شناسی می‌باشند تا آن‌ها را قادر سازد تغییرات موجود در ترکیب گیاه‌شناسی را که ممکن است علامت حضور شرایط اشباع در گودی‌ها، بیرون‌زدگی‌های آهکی و یا سایر تغییرات محلی در خصوصیات خاک باشد، تشخیص دهند. همان‌طور که این مثال‌ها مطرح می‌سازند، اکثر تغییرات مقیاس کوچک خاک شامل تغییرات در پستی و بلندی است. بنابراین، آگاهی از تغییرات دقیق در شیب برای درک تغییرات در خاک در عرض زمین‌نما حیاتی می‌باشد.

تغییرات خاک در مقیاس کوچک

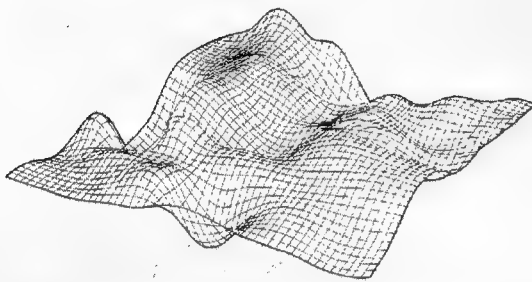
خصوصیات خاک به‌طور قابل‌توجهی در طول فواصل کوچک، در داخل چند هکتار از اراضی زراعی، در داخل یک محدوده ساختمانی حومه‌ی شهر، و حتی در داخل یک خاک انفرادی (مطابق آنچه در فصل ۳-۱ تعریف شد) تغییر می‌کنند. در این مقیاس، دگرگونی‌ها اغلب به خاطر تغییرات کوچک در پستی و بلندی و ضخامت لایه‌های مادری و سایر اثرات جانداران (برای مثال، اثرات یک درخت انفرادی و یا

مدیریت سابق انسان‌ها) می‌باشد. تابلو رنگی ۲۹ نشان‌دهنده تغییرات مقیاس کوچک شگفت‌انگیز در رنگ خاک سطحی و قدرت نبات ناشی از ظاهرشدن یک افق اهکی در یک تپه به‌وسیله فرسایش بادی است.

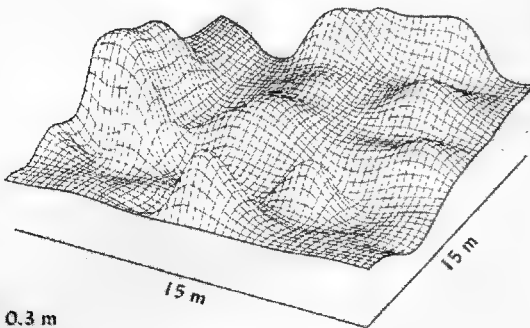
ممکن است اندازه‌گیری این تغییرات مقیاس کوچک مشکل بوده و برای مشاهده‌کننده عادی به آسانی آشکار نباشد. در بعضی از موارد، ارتفاع و رشد پوشش گیاهی بیانگر تغییرات زیرزمینی می‌باشند. در سایر موارد تغییر در خصوصیات خاک با تجزیه نمونه‌های خاک گرفته شده از چاله‌های ایجادشده در کرت موردنظر به فواصل مساوی قابل ردیابی می‌باشند (شکل ۱-۱۹). این و دیگر فناوری‌ها در بخش ۲-۱۹ با توجه به استفاده‌ی عملی از این مشاهدات در تهیه نقشه‌ی خاک مورد بحث قرار خواهند گرفت.



الف) وضع فعلی سطح زمین



ب) تماس A/Bt



ج) ضخامت شن

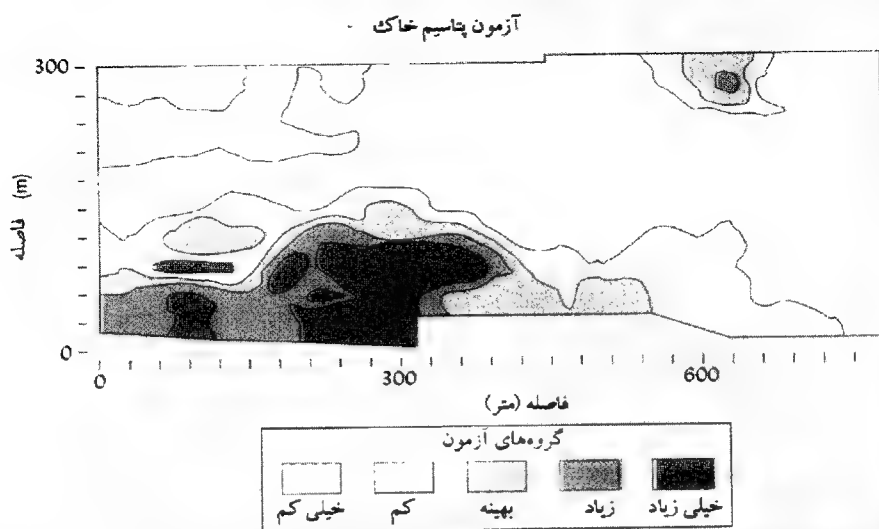
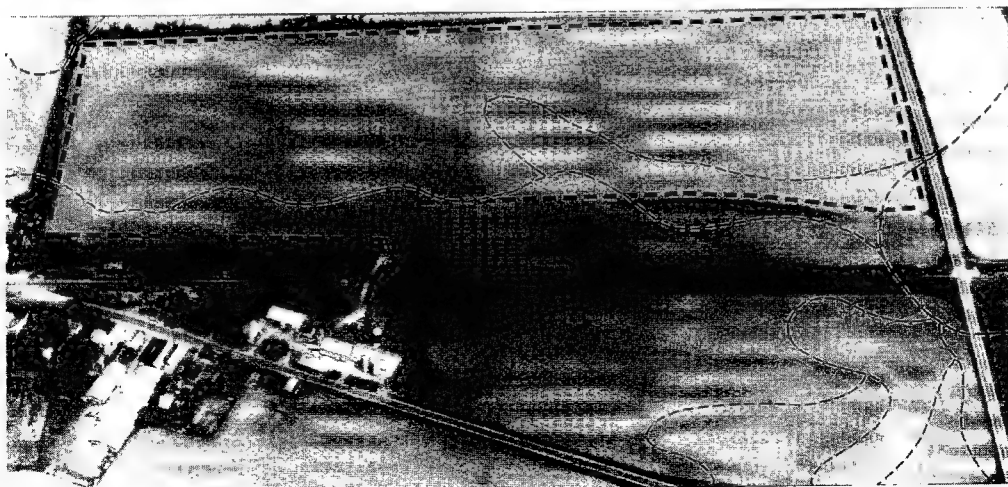
شکل ۱۹-۱ شکل سه‌بُعدی رایانه‌ای تهیه‌شده از تغییرات در یک کرت کوچک (۱۵×۱۵ متر) در جنوب تگزاس. در این جا، چهره‌ی مهم در خاک‌رخ لایه‌ای از مواد بسیار شنی است که احتمالاً از آثار باستانی در سطح مدفون‌شده کنونی می‌باشد. (الف) سطح اراضی یکنواخت نسبتاً مسطح که به‌وسیله‌ی یک شخص ایستاده بر روی زمین مشاهده می‌شود. (ب) مرز موج بین افق A و افق Bt که بیانگر آن است افق A در بعضی نقاط ۲ تا ۳ برابر نقاط دیگر ضخیم می‌باشد. (ج) تغییرات لایه شن زیرین عملاً از صفر تا ۱ متر ضخامت. منحنی‌ها از اندازه‌گیری به‌عمل آمده از یک شبکه با فواصل یک متری در عرض یک کرت کوچک ایجاد شده است.

تغییرات در حاصلخیزی خاک اغلب منعکس‌کننده‌ی عملیات مدیریت خاک در سابق (شکل ۲-۱۹)، و همین‌طور اختلاف در خصوصیات خاک‌رخ می‌باشند. تجزیه و تحلیل تغییرات مقیاس کوچک دارای استفاده‌های عملی در مدیریت حاصلخیزی خاک برای یک مزرعه و یا یک نهالستان است. همان‌طور که در بخش ۱۸-۱۶ تشریح شد، آزمون خاک برای مدیریت حاصلخیزی به‌طور نسبی بر روی نمونه‌های مرکب (مخلوطی از مزرعه‌های کوچک گرفته‌شده از ۱۵ تا ۲۰ نقطه تصادفی) انجام می‌شود که معرف کل مزرعه و یا منطقه‌ای به وسعت ۱۰ تا ۲۰ هکتار می‌باشد. وقتی تغییراتی در مقیاس کوچک موجود باشد، میزان حاصلخیزی واقعی در اکثر نقاط در مزرعه احتمالاً به‌مقدار زیادی کمتر و یا بیشتر از میزان متوسط عدد آزمون خاک در مزرعه خواهد بود. برای بررسی اثر منظورنشده‌ی تغییرپذیری، یک مقایسه با اندازه‌ی کفش به‌عمل

آوريد. توصیه‌های کودی اگر براساس متوسط عناصر غذایی مزرعه باشد، همانند خرید کفش نمره ۶ برای تمام افراد در یک خانواده است، چه، این شماره، متوسط اندازه‌ی کفش خانواده است. خوشبختانه، پیشرفت‌های فناوریانه (بخش ۳-۱۹ را مشاهده کنید) ردیابی و مدیریت تغییرات مقیاس کوچک خاک را بسیار آسان کرده‌اند.

تغییرات خاک در مقیاس متوسط

در بسیاری از خصوصیات خاک، تغییرات در عرض زمین‌نما عمدتاً مربوط به اختلافات دو عامل تشکیل خاک مانند پستی و بلندی (زه‌کشی) و یا مواد مادری است. اگر کسی این تأثیرات عوامل تشکیل‌دهنده‌ی خاک را در یک زمین‌نما درک کند، اغلب امکان دارد که مجموعه‌ای از خاک‌های انفرادی که تمایل دارند در یک توالی در عرض زمین‌نما باهم وجود داشته باشند، مشخص گردند.



شکل ۲-۱۹ یک عکس هوایی مورب (بالا) از یک مزرعه در مرکز ایالت ویسکانزین، مزرعه ۲۲ هکتاری که به وسیله‌ی خط منقطع پیرنگ مشخص شده است به تفصیل برای تهیه نقشه تغییرات مکانی پتاس قابل استفاده (آزمون خاک) مورد مطالعه قرار گرفت. نقشه با استفاده از مقادیر آزمون خاک ۱۹۹ نمونه (هر کدام از ۵ نمونه فرعی تشکیل شده بود) در یک شبکه به فواصل ۳۳ متری در سطح مزرعه که به وسیله‌ی رایانه ایجاد شده است. توجه کنید که مقادیر زیاد پتاسیم در ارتباط با بخشی از مزرعه است که در مجاورت قسمت مسکونی قرار دارد (قسمت پایین چپ عکس). در قبل، زارع آن بخش را به صورت مزرعه‌ی جداگانه اداره کرده و آن را برای دفع کود از اصطبل مجاور به کار می‌برده است. نقطه دارای پتاسیم بالا در منتهی‌الیه سمت راست مزرعه، محل یک توده کود دامی را مشخص می‌سازد که سال‌ها قبل از این مطالعه موجود بوده است. به نظر می‌رسد تغییرات مکانی در مقدار پتاسیم که با مرزهای خاک (خطوط منقطع کم‌رنگ) که در گزارش مطالعات خاک‌شناسی شهرستان آمده است، در ارتباط نباشد.

اغلب تشخیص یک عضو از مجموعه، برآورد خصوصیات خاک را در موقعیت‌های مختلف اراضی که به‌وسیله‌ی دیگر اعضا اشغال شده است، امکان‌پذیر می‌سازد. این مجموعه از خاک‌ها شامل توالی سنگی^۱ (خاک‌هایی که در توالی مواد مادری مختلف یافت می‌شوند)، توالی زمانی^۲ (خاک‌هایی که در مواد مادری یکسان اما با سن متفاوت یافت می‌شوند) و توالی پستی‌وبلندی^۳ (خاک‌هایی که برحسب تغییرات در شیب تنظیم شده‌اند) می‌باشند.

خاک‌های با زه‌کشی خوب، متوسط و تا حدی زه‌کشی نامناسب اغلب باهم در یک توالی پستی‌وبلندی مشخص، که شیوه‌ی قرارگرفتن خاک‌های مختلف در یک زمین‌نما مشخص می‌کند، یافت می‌شوند. اگر تمام خاک‌های موجود در یک توالی پستی‌وبلندی از یک ماده مادری تکامل یافته باشند مجموعه خاک‌ها که از نظر زه‌کشی و یا پستی‌وبلندی باهم اختلاف دارند، کاتنا^۴ نامیده می‌شوند. مفهوم کاتنای خاک در ارتباط دادن خاک‌ها با چشم‌انداز (زمین‌نما) در یک منطقه داده شده، پاری‌دهنده است. اغلب می‌توان خاک‌های مختلف در یک کاتنا را به‌وسیله‌ی رنگ خاک سطحی، و یا حتی با وضوح بیشتر به‌وسیله‌ی رنگ‌های افق B از هم تمیز داد. برای مثال، در کاتنای حاره‌ای که در تابلو رنگی شماره ۱۶ نشان داده شده است، رنگ‌ها از خاکستری تیره در پایین شیب تا قرمز مات در بالای شیب تغییر می‌کند.

با مراجعه به شکل ۳-۱۹ که در آن کاتنای سری‌های Bath - Mardin - Volusia - Alden نشان داده شده است، رابطه‌ی آن‌ها می‌تواند مشاهده گردد. اگرچه تمام چهار و یا پنج عضو کاتنا اغلب در یک منطقه باهم یافت نمی‌شوند، نمودار رابطه‌ی مکانی بین خاک‌ها را در ارتباط با وضعیت زه‌کشی آن‌ها تشریح می‌کند. همان‌طور که نشان داده شده است، وضعیت زه‌کشی هر عضو کاتنا سبب ایجاد خصوصیات خاک‌رخ مجزا می‌شود که در انتشار ریشه نبات و سازگاری گونه‌ها مؤثر است.

یک خاک مجموعه^۵، گروه‌بندی کلی از خاک‌های انفرادی می‌باشد، که باهم در یک زمین‌نما یافت می‌شوند. خاک مجموعه به‌دنبال دو یا سه خاک غالب در گروه نام‌گذاری می‌شود، اما ممکن است دارای چندین خاک اضافی با توسعه کمتر باشد. ممکن است خاک‌ها از همان راسته خاک و یا از راسته‌های مختلف باشند (شکل ۴-۱۹ الف و ب). آن‌ها ممکن است از همان ماده‌ی مادری و یا مواد مادری مختلف تشکیل شده باشند. تنها پیش‌نیاز، وقوع خاک‌ها باهم در همان محل است. تشخیص خاک مجموعه دارای اهمیت عملی می‌باشد، زیرا ما را قادر می‌سازند که زمین‌نماهای اراضی را در مناطق وسیع مشخص نموده، و در برنامه‌ریزی شیوه‌های عمومی کاربری به ما کمک می‌کنند. یک خاک مجموعه معرف دامنه‌ی مشخصی از روابط خصوصیات خاک با زمین‌نماست، گرچه دامنه شرایط مربوطه ممکن است بسیار وسیع باشد (شکل ۴-۱۹ ب را مشاهده کنید).

تغییرات خاک در مقیاس بزرگ

در مقیاس بزرگ، حالت‌های خاک بدواً حاصل شیوه‌ی اقلیمی، پوشش گیاهی، و بعداً در ارتباط با اختلاف در مواد مادری می‌باشد. اگرچه اغلب مفید است که خصوصیات کلی منطقه‌ای خاک مورد اشاره قرار گیرد، باید به‌خاطر داشت، که تغییرات محلی زیادی در بین هر گروه‌بندی منطقه‌ای موجود است. مطالعه‌ی نقشه خاک‌های جهان، که در پشت جلد کتاب حاضر چاپ شده، و نقشه خاک‌های آمریکا که در ضمیمه الف آمده است، بیانگر شیوه‌های مهم منطقه‌ای است این شیوه‌ها در مجموعه‌ی نقشه‌ی راسته‌های خاک که در فصل ۳ آمده‌اند، آشکار می‌باشند. از این نقشه‌ها می‌توان مشاهده کرد که اکسی‌سول‌های هوادیده عمدتاً در مناطق گرم‌ومرطوب آمریکای جنوبی و آفریقا، که به‌ترتیب به‌وسیله‌ی رودخانه‌های آمازون و کنگو زه‌کشی می‌شوند قرار دارند. مولی‌سول‌ها مشخص‌کننده‌ی علف‌زارهای نیمه‌خشک جهان هستند. اریدی‌سول‌ها در مناطق بیابانی قرار دارند. گسترش خیلی زیاد رسوبات لسی در آمریکای مرکزی (شکل ۱۸-۲ را مشاهده کنید) نمونه‌ای از تأثیر مواد مادری در مقیاس منطقه‌ای است. اطلاعات خاک در این مقیاس می‌تواند کمک مهمی در فهرست‌برداری از منابع طبیعی یک ایالت، استان و یا مملکت ارایه کند.

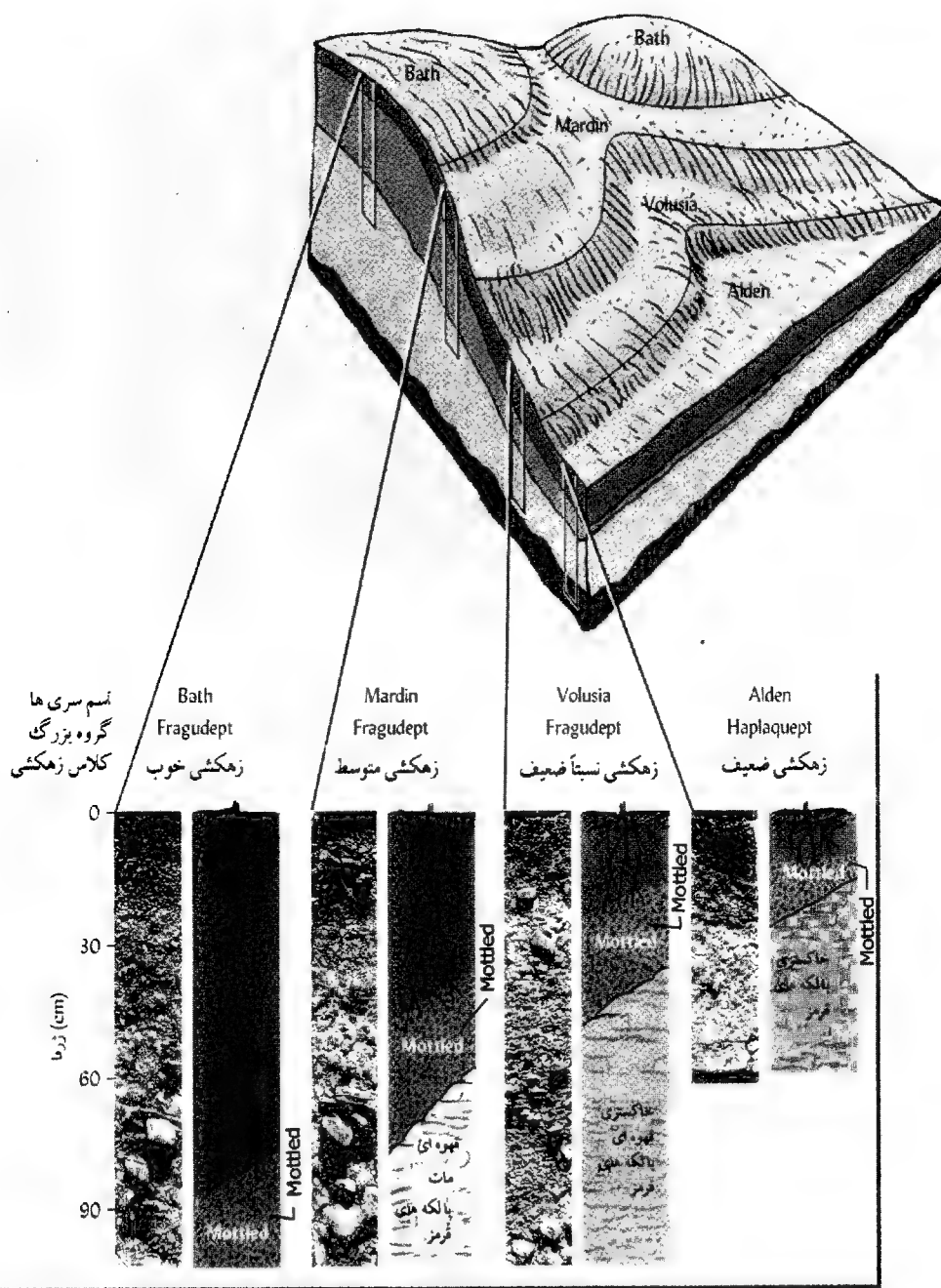
^۱ -Lithosequence

^۲ -Chronosequence

^۳ -Toposequence

^۴ -Catena

^۵ -Soil association



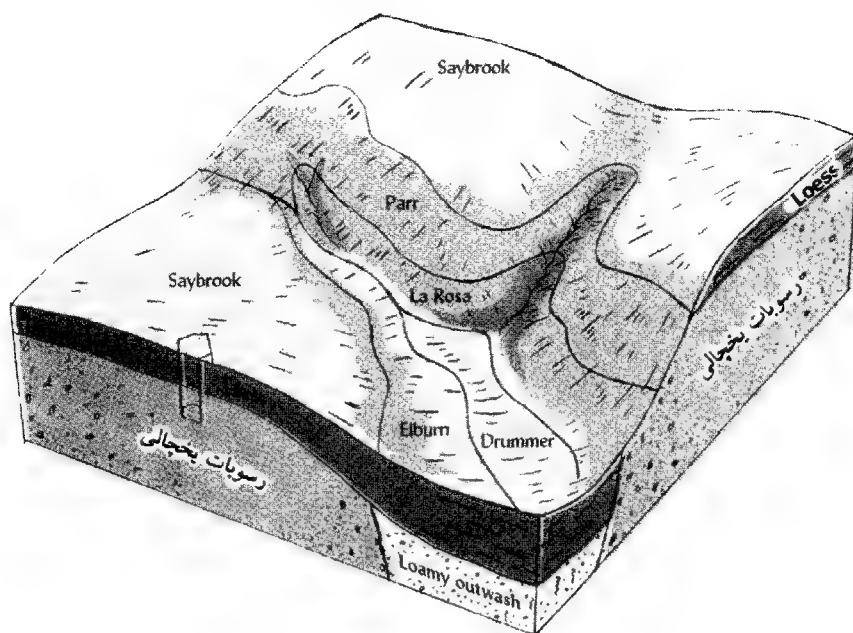
شکل ۳-۱۹: منولیت‌های خاک‌رخ چهار خاک در یک کانتای زهمکشی (زیر) و نمای سه‌بعدی نشان‌دهنده موقعیت آن‌ها در یک زمین نما (بالا). به کاهش عمق منطقه دارای زهمکشی خوب (در بالای لایه‌های مانل^۱) از سری بات^۲ (شیب بالایی دارای تهویه خوب) تا الدن^۳ (شیب پایین با زهمکشی ضعیف توجه کنید). خاک الدن در سرتاسر فصل رشد مرطوب باقی می‌ماند. این خاک‌ها همگی از ماده‌ی مادری یکسانی تکامل یافته و فقط از نظر زهمکشی و پستی و بلندی باهم تفاوت دارند. هر چهار خاک به رده‌ی انستیتی سول تعلق دارند. به استثنای سری تحت کشت ولوزیا^۴، منولیت‌های تهیه شده از مناطق جنگلی می‌باشند.

^۱ - Mottled - نقاط اکسایش و احیاء

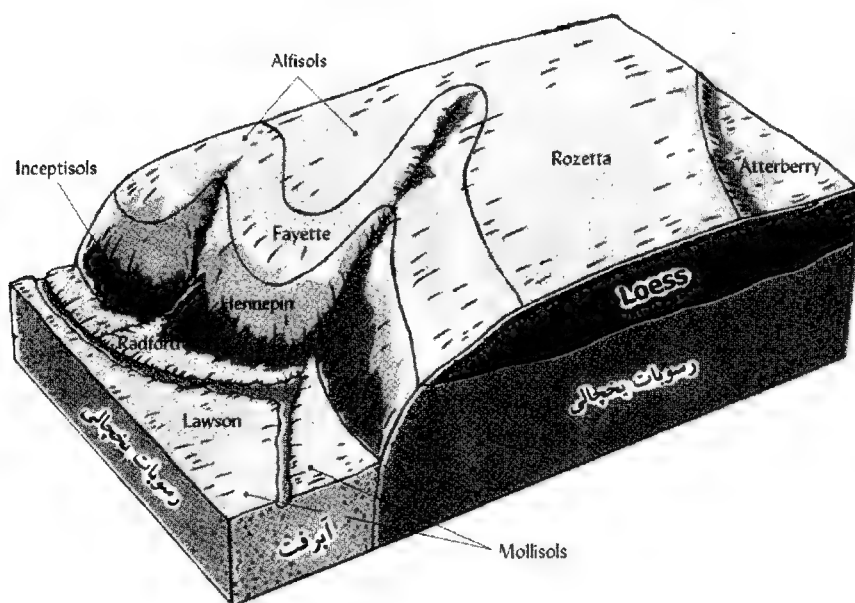
^۲ - Bath

^۳ - Aldon

^۴ - Volusia



(الف)



(ب)

شکل ۱۹-۴ دو خاک مجموعه از شهرستان بورو^۱ در ایالت ایلینوی. خاک مجموعه Larosa-Saybrook-Parr (الف) مولی‌سول می‌باشند. آن‌ها عمدتاً در ارتباط با پستی‌وبلندی و مواد مادری (Parr و Larosa از رسوبات یخچالی و دیگران عمدتاً از لس تشکیل شده‌اند) تفاوت دارند. جدول ۱-۱۹ را برای تشریح بدون مشخص شده در خاک Saybrook مشاهده کنید. خاک مجموعه Rozella, Fayette, Hennepin (ب) شامل دامنه‌ی وسیعی از شرایط خاک، و شامل خاک‌هایی از دو راسته می‌باشد.

۱۹-۲ فنون و وسایل تهیه نقشه‌ی خاک‌ها

اطلاعات جغرافیایی درمورد خاک‌ها معمولاً به بهترین وجه به وسیله‌ی نقشه‌ی خاک با مدیران اراضی مبادله می‌شود. نقشه خاک‌ها به عنوان وسیله‌ای برای برنامه‌ریزی عملی و مدیریت اراضی شدیداً مورد تقاضاست. بنابراین، بسیاری از دانشمندان خاک در تهیه نقشه‌های

^۱ -Bareaut Coanty

خاک تخصص دارند. قبل از شروع فرایند واقعی تهیه نقشه یک خاک‌شناس باید تا آن‌جا که مقدور است درمورد خاک‌ها، زمین‌ناها و پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه مطلب یاد بگیرد. بنابراین، نخستین گام در تهیه نقشه خاک، جمع‌آوری و مطالعه نقشه‌های قدیمی و مقیاس کوچک خاک، نقشه‌های زمین‌شناسی و پستی و بلندی، برگه‌های قبلی تشریح خاکرخ و هر نوع از اطلاعات دیگر موجود در منطقه است. وقتی مطالعات خاک‌شناسی آغاز می‌گردد، وظیفه خاک‌شناسان شامل این ۳ مورد است: (۱) تشریح هر واحد خاک که باید نقشه آن تهیه شود (بخش ۳-۱۹ را مشاهده کنید)، (۲) جمع‌آوری اطلاعات از طبیعت هر خاک، و (۳) ترسیم مرزهایی از هر واحد خاک که در زمین‌نما یافت می‌شود. اکنون بعضی از ادوات را که دانشمند خاک برای مشخص کردن خاک‌ها در مزرعه مورد استفاده قرار می‌دهد، مورد بررسی قرار می‌دهیم.

تشریح خاک^۱

ممکن است دانشمندان خاک از رایانه‌ها و مأموردها استفاده کنند، اما آن‌ها بیل‌ها و مته‌ها را نیز به کار می‌برند. به رغم تمام پیشرفت‌های فناوریانه در سال‌های اخیر، قلب عملیات تهیه نقشه خاک هنوز در خاکرخ است. یک خاکرخ چه با دست و چه با نهرکن حفر شده باشد، اساساً یک چاله مربع مستطیل است که به اندازه‌ی کافی عمیق بوده، تا امکان دهد یک یا چند دانشمند داخل آن شده، و به مطالعه یک پدון شاخص (فصل ۱-۳) آشکار شده در چاله‌ی خاک بپردازند. تابلوهای رنگی ۱ تا ۱۲ عکس‌های هستند که از چهره این چاله‌ها برداشت شده‌اند. پس از زدودن نخاله خاک سست از چهره‌ی این چاله، دانشمندان به مطالعه‌ی رنگ، بافت، پایداری، ساختمان، چگونگی توسعه‌ی ریشه گیاهان، و سایر چهره‌ها، برای تعیین این که کدام افق وجود داشته و مرز آن‌ها در چه عمقی قرار گرفته است، می‌پردازند. معمولاً مرز افق‌ها به وسیله‌ی یک پیلچه و یا چاقو، همان‌طور که در قسمت راست تابلو ۹ رنگی مشاهده می‌شود، مشخص می‌گردد.

تشریح خاک در یک جدول خاص (به جدول ۱-۱۹ به عنوان یک نمونه مراجعه فرمایید) نوشته می‌شود تا ارتباط با دیگر دانشمندان دیگر و مقایسه با دیگر خاک‌ها آسان شود. گاهی خاک‌شناسان از مجموعه‌های صحرایی برای تعیین کانی‌های کربناته آزاد (که در صورت مواجهه با اسید کلریدریک ۱۰ درصد جوشش گاز کربنیک مشاهده می‌شود) و یا pH خاک (شکل ۲۰-۹ را مشاهده کنید) استفاده می‌کنند.

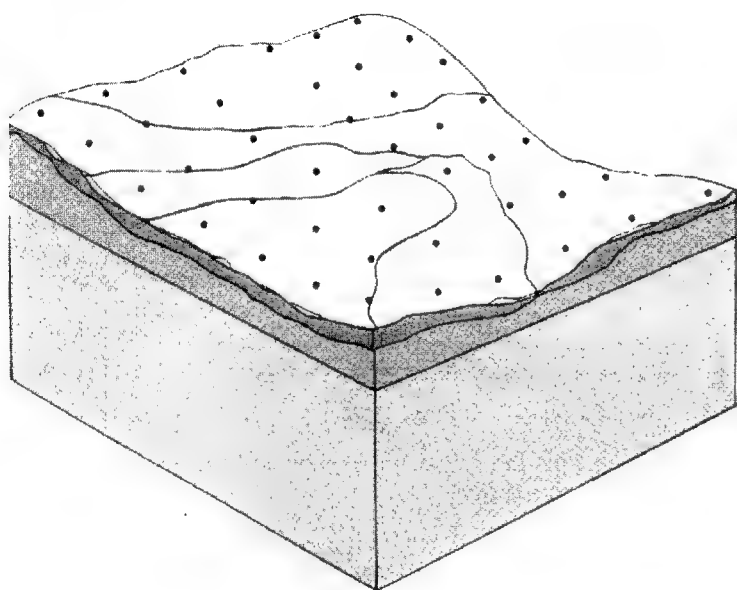
در این مرحله، تا آن‌جا که مقدور است افق‌های اصلی خاک (A, E, B, و غیره) و افق‌های فرعی (Ap, 2Bt, و غیره) مشخص می‌شوند (جدول ۴-۲ را مشاهده کنید). نهایتاً نمونه‌هایی از هر افق برداشت می‌شود. این نمونه‌ها برای انجام تجزیه‌های آزمایشگاهی تفصیلی و بایگانی مورد استفاده قرار می‌گیرند. تجزیه‌های آزمایشگاهی اطلاعاتی برای تعیین خصوصیات شیمیایی، فیزیکی و کانی‌شناسی هر خاک ارائه می‌دهند. بدین صورت دانشمندان خاک، که برای تهیه نقشه‌ی خاک یک منطقه انتخاب شده‌اند، خود را با خاک‌هایی که انتظار یافتن آن‌ها را دارند، آشنا ساخته، و یاد می‌گیرند به دنبال خصوصیات انحصاری به خصوص، برای تعیین سریع خاک و تمیز آن‌ها از خاک‌های دیگر منطقه باشند.

ترسیم مرزهای خاک

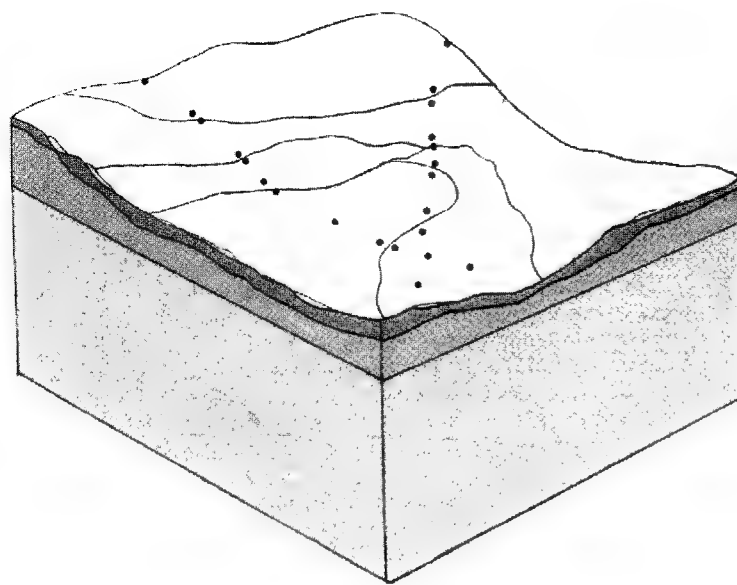
دانشمند خاک به دلایل آشکار نمی‌تواند چاله‌های در سرتاسر زمین‌نما برای تعیین آن‌که کدام نوع خاک وجود دارد و مرزهای آن در کجا قرار گرفته‌اند، حفر کند. در عوض نامبرده با استفاده از یک مته‌ی دستی مواد خاکی را از حفرات متعدد کوچک بالا می‌آورد (شکل ۵-۱۹ الف) بافت، رنگ و سایر خصوصیات مواد خاکی در عمق‌های مختلف می‌توانند با خصوصیات خاک‌های شناخته‌شده در منطقه به‌طور ذهنی مقایسه شوند.

البته با صدها خاک مختلف در بسیاری از مناطق این عمل یک کار بی‌سرانجام به نظر می‌آید، گرچه آن‌چنان که تصور می‌شود، کار دلسردکننده نیست. زیرا خاک‌شناس به‌طور چشم‌پسته و یا تصادفی به حفر چاله مبادرت نمی‌ورزد، بلکه نامبرده با دانستن خاک مجموعه و با توجه به ۵ عامل مؤثر در تشکیل خاک، کار می‌کند که مشخص می‌سازند، کدام خاک احتمالاً در کدام قسمت زمین‌نما پیدا می‌شود. معمولاً تنها شمار اندکی خاک احتمالاً یک موقعیت خاص را اشغال می‌کنند. بنابراین، فقط چند خصوصیت اندک باید مشاهده گردد. مته‌زدن خاک اساساً برای تأیید این مطلب است که نوع پیش‌بینی شده در یک زمین‌نما دقیقاً همانی است که در آن‌جا وجود دارد سرشت واحدهای خاک و موقعیت خطوط مرز در اطراف آن‌ها از اطلاعات حاصل از مته‌زدن‌ها در موقعیت‌های مختلف در طول زمین‌نما استنباط می‌شود، یک روش ساده اما پرزحمت و زمان‌بر برای کسب اطلاعات خاک، زدن مته در فواصل منظم (مثلاً هر ۵۰ متر) در یک شبکه در طول زمین‌نماست (شکل ۶-۱۹ الف)، نقاط با خصوصیات مشابه می‌توانند برای ایجاد مرز خاک به‌همدیگر وصل گردند. این شیوه بعضی مواقع در کشورهای در حال توسعه که نیروی کار برای جمع‌آوری نمونه خیلی پرهزینه نیست، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

¹ - Soil description



(الف)



(ب)

شکل ۶-۱۹ دو روش برای جمع‌آوری اطلاعات از خصوصیات و مرزهای خاک به وسیله‌ی مت‌زدن (با نقطه‌ها مشخص شده‌اند). شیوه شبکه با فواصل معین (الف)، در بیان آسان است اما اجرای آن بسیار نیروبر است. در روش بسیار کارا تر (ب)، دانشمند خاک زمین‌نما را در طول مقاطع انتخاب شده پیمایش می‌کند (مسیرهای منظم). مت‌زدن فقط در نقاط کافی برای تأیید خصوصیات و مرزهای پیش‌بینی شده بر اساس روابط خاک و زمین‌نما انجام می‌شود. توجه کنید که برای مشخص کردن جای دقیق مرزها، مت‌های بیشتری در نزدیک جاهایی که این مرزها احتمالاً قرار دارند زده شده‌اند.

۳-۱۹ فناوری نوین در بررسی‌های خاک

درحالی‌که هنوز مت‌زدن تکیه‌گاه اصلی بررسی‌ها و تهیه‌ی نقشه خاک است، اما سبب به‌هم‌زدن خاک گردیده و نیازمند نیروی کار زیادی است. استفاده از روش‌های متعدد غیرمهاجم پژوهش در خاک برای کمک به تشخیص خصوصیات خاک سطحی و مشخص کردن مرز خاک‌ها درحال افزایش است، این فناوری‌ها شامل (۱) رادارهای نفوذی زمینی، (۲) القای الکترومغناطیسی، (۳) نظام‌های مکان‌یابی جهانی، و (۴) سنجش از دور چهره‌های سطحی زمین می‌باشند

رادارهای نفوذی زمینی^۱

برای افزایش کیفیت نقشه‌ها و کاهش هزینه‌های آن در مقیاس محدود مورد استفاده قرار گرفته است. یک نیروی محرکه انرژی شدید به داخل خاک انتقال می‌یابد. وقتی نیروی محرکه به حد فاصل ذرات خاک برخورد می‌کند، انرژی به سطح خاک برمی‌گردد، این انرژی برگشت‌یافته اندازه‌گیری، و بر روی یک ثبت‌کننده نمایش داده می‌شود. تشریح وسیله‌ی اندازه‌گیری صحرائی و شکل نیمرخ حاصل در شکل ۷-۱۹ نشان داده شده است. این روش در تمام خاک‌ها مناسب نیست زیرا انرژی بازتاب‌شده تحت تأثیر عواملی چند، مانند میزان رطوبت، میزان نمک و نوع رس می‌باشد. این روش در جاهایی که مؤثر است هزینه را به $\frac{1}{3}$ روش ردیابی مرز خاک‌ها به وسیله‌ی روش‌های متعززن کاهش می‌دهد.

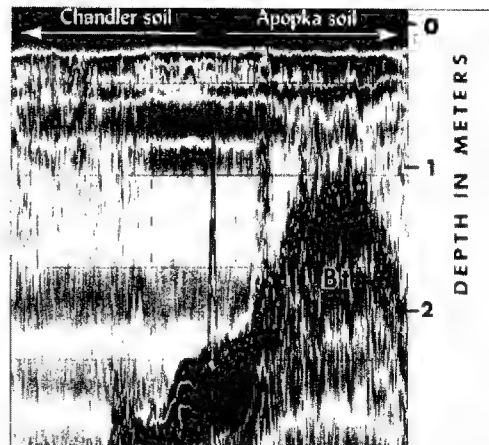
القای الکترومغناطیسی^۲

این فناوری یک روش سریع غیرمهاجم را درمورد بررسی چهره‌های سطحی ارائه می‌دهد. با استفاده از یک ابزار دستی حدوداً در اندازه و شکل یک تراز نجاری، هدایت ظاهری خاک را از نظر انرژی الکترومغناطیسی اندازه‌گیری می‌کند. هدایت اندازه‌گیری شده تحت تأثیر میزان رطوبت، شوری خاک (فصل ۴-۵ را مشاهده کنید) و مقدار و نوع رس در داخل خاک است. این روش به‌طور موفقیت‌آمیزی برای تهیه نقشه عمق و ضخامت افق‌های سخت لایه رسی در مناطق مرطوب، و بررسی آرایش آب زیرزمینی و شوری در مناطق خشک مورد استفاده قرار گرفته است.

جدول ۹-۱ تشریح شاخص خاکرخ (با افق‌های تشخیصی رده‌بندی)

طبقه‌بندی خاک موقعیت بدون تشریح شده		Typic Argiudolls, Saybrook Series در ۷۹ متری غرب و ۳۷۵ متری جنوب گوشه‌ی شمال شرقی - بخش ۹ نقشه شهری ۷E دامنه‌ی ۱۷N	
افق‌های مشخص شده	افق تشخیصی	مرز افق‌ها یا نیمرخ	تشریح افق‌ها
Ap	افق مالیک	۰-۲۰	لوم سیلنی، قهوه‌ای بسیار تیره ($10YR^{1/2}$)، با رنگ خشک قهوه‌ای خاکستری تیره ($10YR^{4/2}$)، با ساختمان خاکدانه‌ای متوسط نسبتاً قوی، ترد و شکننده، با مقدار متوسط ریشه‌های ریز، اسیدی متوسط، و با مرز صاف و تیز
A		۲۰-۳۶	لوم سیلنی قهوه‌ای بسیار تیره ($10YR^{1/2}$)، با رنگ خشک قهوه‌ای خاکستری تیره ($10YR^{4/2}$)، ساختمان فندقی متوسط ضعیف که به ساختمان خاکدانه‌ای متوسط نسبتاً قوی تبدیل می‌شود، ترد و شکننده، ریشه‌های نسبتاً زیاد ریز، کمی اسیدی با مرز آشکار صاف
Bt1		۳۶-۵۶	لوم رسی سیلنی قهوه‌ای زرد تیره ($10YR^{4/2}$)، ساختمان فندقی متوسط نسبتاً قوی، ترد شکننده، با ریشه‌های اندک ریز، با پوشش رسی زیاد مشخص با رنگ قهوه‌ای بسیار تیره ($10YR^{4/2}$)، بر روی سطوح خاکدانه، کمی اسیدی، مرز آشکار صاف
Bt2	افق ارجلیک	۵۶-۷۶	لوم رسی سیلنی قهوه‌ای زرد تیره ($10YR^{4/2}$)، ساختمان فندقی متوسط نسبتاً قوی، ترد شکننده، ریشه‌های اندک ریز با پوشش رسی زیاد مشخص دارای رنگ قهوه‌ای تیره ($10YR^{4/2}$)، بر روی سطوح خاکدانه‌ها، کمی اسیدی، مرز آشکار صاف
2Bt3		۷۶-۹۱	لوم رسی قهوه‌ای تیره ($7.5YR^{4/2}$)، ساختمان فندقی متوسط ضعیف، ترد شکننده، ریشه‌های اندک ریز با پوشش رس کم مشخص با رنگ قهوه‌ای تیره ($7.5YR^{4/2}$)، بر روی سطوح خاکدانه، خنثی، مرز آشکار صاف
2C		۹۱-۱۵۲	لوم قهوه‌ای ($7.5YR^{5/2}$)، ساختمان متراکم، ترد شکننده، تراکم اندک اکسیدهای آهن و سنگ‌ریزه تیره، تعدادی اندک قلوه سنگ، جوشش شدید، نسبتاً قلیایی

^۱ -Ground Penetrating radar(GPR)^۲ -Electromagnetic induction



شکل ۷-۱۹ استفاده از رادار نفوذکننده در خاک (GPR) برای بررسی عمق تا یک لایه زیرسطحی متفاوت. (چپ) رود می‌سی‌سی‌پی در طفیجان بزرگ سال ۱۹۹۳ بر روی اراضی حاصلخیز زراعی رسوبات درشت شن را در لایه‌های با ضخامت چند سانتی‌متر تا یک متر به جای گذاشت. برای تعیین این که در کجا لایه شن دارای ضخامت کم است تا بتوان آن‌را با شخم با لایه‌های پایین مخلوط کرد، وسیله‌ی GPR بر روی زمین کشیده می‌شود. وسیله در قسمت عقب عکس یک وسیله‌ی القایی الکترومغناطیسی (EM) است. در قسمت راست حاصل یک GPR است که در مطالعه دیگری به کار رفته است، که نشان‌دهنده‌ی عمق تا رسیدن به افق B_t در دو خاک در ایالت فلوریدا می‌باشد. علایم GPR به تغییرات خصوصیات خاک از شن درشت در افق‌های بالایی و رس در افق B_t بسیار حساس است. در قسمت چپ نمودار، شن‌های ضخیم سری چندلر

است که یک خاک Quartzipsamment بدون افق ارجلیک در ۲ متری فوقانی می‌باشد. در سمت راست نمودار افق B_t خاک سری اپوپکا Paleudult می‌تواند به وضوح مشاهده گردد. مرز بین دو خاک تدریجی است اما می‌تواند در وسط نمودار مشخص شود. فاصله در سرتاسر نمودار ۱۴۰ متر است

باید تذکر داد که این روش‌های الکترونیکی بررسی‌های خاک هنوز از قفسه‌ی فناوری بیرون نیامده و برای همه‌کس و همه‌جا قابل استفاده نمی‌باشد، اما باید به وسیله‌ی استفاده‌کننده برای هر موقعیت سازگار شود. استفاده‌کننده ابتدا باید رابطه‌ی بین خصوصیات خاک موردنظر و علایم الکترونیکی را که به وسیله‌ی ابزار ثبت می‌شود، به‌طور کمی مشخص کند. ممکن است یک برنامه رایانه‌ای مناسب برای تجزیه و تحلیل اطلاعات موردنیاز باشد. وقتی این فناوری سازگار شود، می‌تواند اطلاعات جامعی را درمورد چهره‌های سطحی فراهم نموده و کمک بزرگی در تعیین موقعیت مرزهای خاک بر روی نقشه‌های تفصیلی باشد

نظام مکان‌یابی جهانی^۱

یک پیش‌نیاز آشکار برای ترسیم و تعیین موقعیت خاک در صحرا این است که تهیه‌کنندگان نقشه خاک بدانند که هنگام پیمایش یک زمین نما خود در کجا قرار دارند. به‌طور سنتی، تهیه‌کنندگان نقشه، از نقشه‌های پایه‌ی مقیاس بزرگ و یا عکس‌های هوایی (فصل ۵-۱۹ را مشاهده کنید) برای مشخص کردن موقعیت استفاده کرده‌اند. هرچند در یک زمین تقریباً بدون عوارض، و یا منطقه با پوشش گیاهی خیلی سنگین، این وسایل دارای استفاده محدود می‌باشند. خوشبختانه، تهیه‌کنندگان نقشه خاک حال می‌توانند از فناوری ماهواره‌ای برای تشخیص دقیق موقعیت‌ها در هر جای جهان استفاده کنند.

^۱ -Global Positioning System (GPS)

وقتی وزارت دفاع امریکا اخیراً نظام مکان‌یابی جهانی (جی‌پی‌اس) خود را برای استفاده‌ی غیرنظامی آزاد کرد، فرصت‌هایی برای کاربرد در تهیه نقشه و سایر بررسی‌های خاک در صحرا فراهم گردید (تابلو ۱-۱۹). جی‌پی‌اس شامل شبکه‌ای از ماهواره‌های موجود در مدار زمین است که به‌طور مداوم علائمی را انتقال می‌دهند که می‌توانند برای تعیین طول جغرافیایی (جهت شرق و غرب) و عرض جغرافیایی (فاصله شمال و جنوب از استوا) بر روی زمین مورد استفاده قرار گیرند.

برای استفاده از علائم شبکه‌ی ماهواره‌ای شخص یک دریافت‌کننده جی‌پی‌اس غیرنظامی با خود حمل می‌کند که ممکن است به اندازه یک تنظیم‌کننده‌ی کوچک از راه دور تلویزیون باشد. حداقل دو و ترجیحاً سه و چهار ماهواره‌های جی‌پی‌اس باید در تماس با دریافت‌کننده باشند تا او را قادر سازد که موقعیت خود را محاسبه کند (شکل ۸-۱۹ را مشاهده کنید). مختصات داده‌شده به‌وسیله‌ی دریافت‌کننده جی‌پی‌اس بعداً برای هر نقطه خاک مطالعه شده، به نقشه‌های پایه منتقل می‌شود.

۴-۱۹ ادوات سنجش از راه دور برای بررسی‌های خاک‌شناسی

سنجش از راه دور بیانگر جمع‌آوری اطلاعات از یک فاصله است. با این مفهوم عمومی ما هر بار که از چشمان خود برای مشاهده یک جسم از فاصله‌ای استفاده می‌کنیم به‌جای آن‌که آن شی را با دستان خود بلند کرده و آنرا حس کنیم یک سنجش از دور را انجام داده‌ایم، وقتی یک شی را مورد نظاره قرار می‌دهیم، مغز ما یک تصویر ذهنی را در پاسخ به انرژی نوری منعکس‌شده از شی به چشم ما تشکیل می‌دهد. در یک حالت مشابه، یک تصویر عکس و یا شماره‌ای می‌تواند به‌وسیله‌ی حسگرها (مانند دوربین عکاسی) موجود بر روی یک سکو (یک هواپیما، و یا یک ماهواره فضایی) که یک نقطه‌ی بسیار مناسب را برای مشاهده بخش به‌خصوصی از منطقه فراهم می‌نماید، ایجاد کند. درحالی‌که چشمان ما فقط به انرژی برگشت‌یافته با طول‌موج‌های در دامنه قابل مشاهده پاسخ نشان می‌دهند، سایر حسگرها می‌توانند تصویرهایی را از طول‌موج‌های انرژی دیگر مانند مادون‌قرمز ارایه دهند. ما به‌طور مختصر چندین نوع از تصاویر و استفاده از آن‌ها را در مطالعات جغرافیایی خاک‌ها مورد تشریح قرار می‌دهیم. عکس‌های هوایی و سایر تصاویر که اکثر مناطق را در آمریکا و جهان پوشش داده‌اند، از طریق تعدادی از بنگاه‌های دولتی و شرکت‌های خصوصی در دسترس می‌باشند (جدول ۲-۱۹).

جدول ۲-۱۹ صورت جزئی از منابع تصاویر سنجش از راه دور. بسیاری از منابع قابل ارزش دیگر موجود بوده و ممکن است محصولات و خدماتی به همین خوبی را ارایه کنند.

نوع تصاویر	منبع	نشانی
عکس‌های هوایی	اداره‌ی مدیریت اراضی	BLM – Denver Service Center. Division of Technical Services, Bldg. 46, P.O. Box 25047 Denver, CO 80225
	مطالعات زمین‌شناسی آمریکا	EROS Data Center. Sioux Falls SD 57198
	اتحادیه WAC	520 Conger Street Eugene, OR 97402 - 2795
	USDA/ASCS	Aerial Photography, P.O. Box 3010 Salt Lake City, UT 84130
تصاویر Land sat	تصاویر فضایی L.P.	4300 Forbes Boulevard Lanham, MD 20706 18002329037
	اتحادیه‌ی ماهواره‌های زمین	6011 Executive Blvd, Suite 400 Rockville, MD 20852
تصاویر SPOT	اتحادیه تصاویر SPOT	1897 Preston White Drive Reston, VA 22091
	تصویر راداری	Phone. (703) 620-2200 Building D, Suite 200 3851 Shell Road
	اطلاعات ارتفاعی	Richmond, BC V6X2W2, Canada
عددی زمینی	اداره‌ی تصاویر و نقشه‌های	WebSite : http://WWW.nima.mil
	کشوری وزارت دفاع	

تابلو ۱-۱۹ استفاده از نظام مکان‌یابی جهانی برای تهیه نقشه اطلاعات خاک‌ها

شبکه‌ای از ۲۴ ماهواره نظام مکان‌یابی جهانی (جی‌پی‌اس)، به‌وسیله وزارت دفاع آمریکا برای ناوبری هواپیماهای نظامی و کشتی‌ها در طول دهه‌ی ۱۹۸۰ تکامل یافت. این نظام حال می‌تواند به‌وسیله‌ی غیرنظامی‌ها، تقریباً در همه‌ی جهان، برای تعیین موقعیت دقیق آن‌ها، تقریباً فوری مورد استفاده قرار گیرد. ماهواره‌های جی‌پی‌اس حدود ۲۰۰۰۰ کیلومتر در بالای زمین در حالت‌های دقیق چنان تنظیم شده‌اند که حداقل ۴ ماهواره اطلاعات را به‌طور همزمان به هر نقطه در روی کره زمین پخش می‌کنند. گروه ماهواره‌ها در ارتباط با دریافت جی‌پی‌اس منظومه‌ی ماهواره‌ها^۱ نامیده می‌شوند.

یک ساعت الکترونیکی در دریافت‌کننده جی‌پی‌اس، زمان لازم را برای دریافت علایم رادیویی از هر ماهواره به آن نقطه اندازه می‌گیرد. با توجه به این که علایم با سرعت نور حرکت می‌کنند دریافت‌کننده می‌تواند فاصله را تا هر ماهواره (فاصله مساوی است با سرعت \times زمان) محاسبه کند. یک دریافت‌کننده که مثلاً در ۲۰۰۰ کیلومتری ماهواره‌ای خاص قرار گرفته است، باید در جایی بر روی سطح یک کره فرضی قرار داشته باشد که مرکز آن در فرستنده‌ی ماهواره و دارای قطر ۲۰۲۰۰ کیلومتر باشد. اگر همان دریافت‌کننده همچنین در فاصله‌ی ۲۰۷۰۰ کیلومتری از ماهواره‌ی دوم قرار داشته باشد همچنین باید در جایی در سطح کره‌ی دوم با قطر ۲۰۷۰۰ کیلومتر قرار داشته باشد. هندسه‌ی ساده به ما می‌گوید که چهارنوع از این کره‌ها می‌توانند فقط در یک نقطه در جهان باهم تلاقی کنند (شکل ۸-۱۹ الف). آن نقطه محل دقیق دریافت‌کننده است.

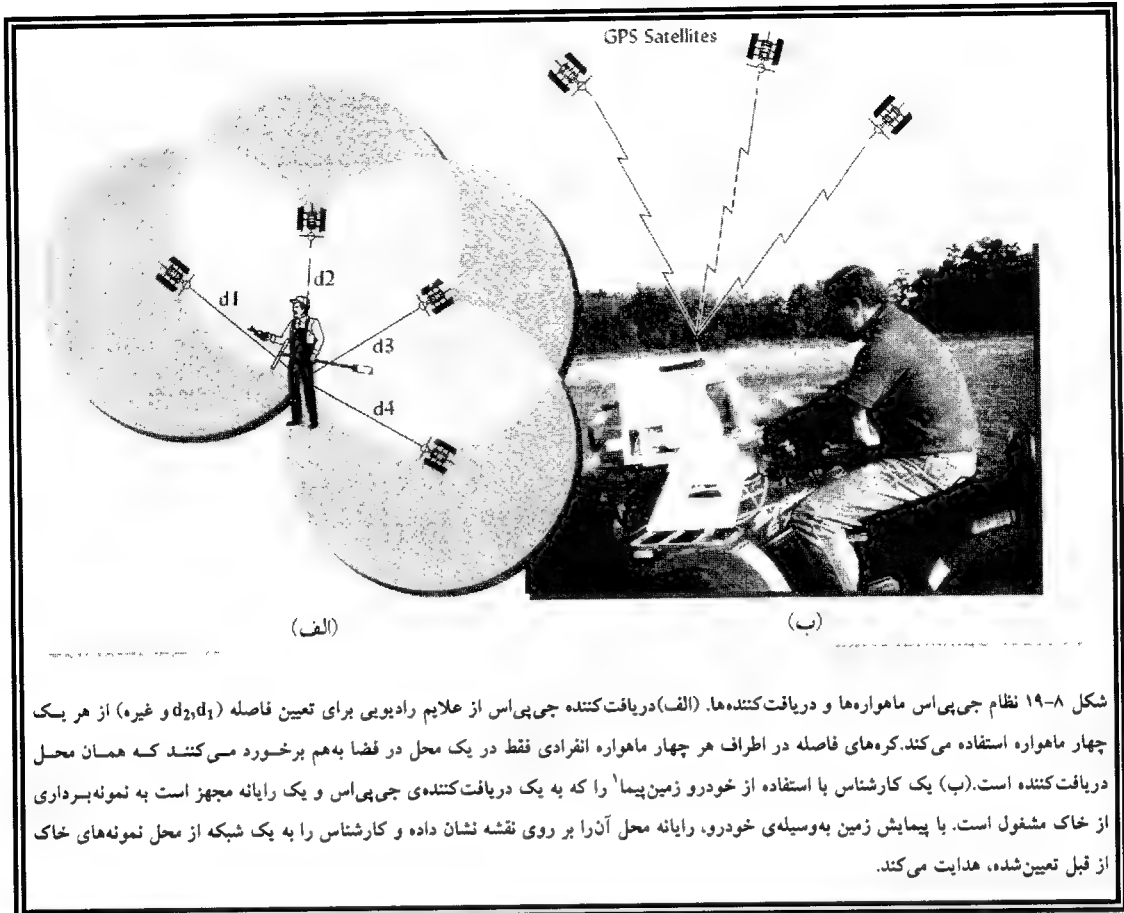
از آن‌جا که ساعت تنظیم‌شده ماهواره به‌دقت معلوم نیست (بخشی به‌علت انحراف ایجادشده به‌وسیله وزارت دفاع آمریکا برای حفظ تفوق بر مخالفان بالقوه است) صحت همیشه بهینه نیست. یک روش اصلاح شامل نصب یک دریافت‌کننده‌ی ثابت در فاصله‌ی به‌دقت شناخته‌شده بر روی ساختمان‌های بلند و یا سیلوهای مزارع می‌باشد. دریافت‌کننده‌های متحرک، از اطلاعات انتشاریافته دریافت‌کننده ثابت برای اندازه‌گیری خطا در هر ساعت ماهواره‌ای استفاده می‌کنند. سایر علایم اصلاحی تفاضلی از دولت و منابع تجاری که از برج‌های رادیویی FM برنامه پخش می‌کنند، قابل استفاده‌اند. بدون این اصلاحات، دریافت‌کننده‌های دستی ساده می‌توانند موقعیت نقاط را در فاصله‌ی ۱۰ تا ۲۰ متر از محل واقعی آن تعیین کنند. با انجام این اصلاحات حتی جی‌پی‌اس‌های کوچک ارزان‌قیمت می‌توانند موقعیت نقاط را در فاصله ۱ تا ۵ متر از محل واقعی تعیین کنند، دریافت‌کننده‌های خیلی کامل‌تر می‌توانند موقعیت را حتی در فاصله چندسانتی‌متری تعیین کنند.

این فناوری می‌تواند در تهیه نقشه‌های خاک مورد استفاده قرار گرفته و به دانشمندان خاک در مزارع امکان دهد که مختصات دقیق هر مشاهده را ثبت کنند. ممکن است نقشه‌ی اطلاعات خاک تهیه شده، نام واحد نقشه رده‌بندی خاک (در مطالعات خاک‌شناسی)، و یا ممکن است یک خصوصیت اندازه‌گیری‌شده خاک مانند میزان ماده‌ی آلی و یا قابلیت استفاده عناصر غذایی باشد. در مورد آخر، نقشه‌های خاک ممکن است به‌وسیله برنامه‌های رایانه‌ای آمار زمینی^۲ که مقادیر خصوصیت خاک مورد نظر را در تمام نقاط در بین نقاط واقعی نمونه‌برداری برآورد می‌کنند، تهیه گردند.

در آنچه بعضی مواقع کشاورزی دقیق (فصل ۱۹-۱۶ را مشاهده کنید) نامیده می‌شود، یک دریافت‌کننده جی‌پی‌اس تنظیم شده بر روی ادوات پخش‌کننده‌ی کود شیمیایی درحال حرکت میزان استعمال کود شیمیایی را مشخص می‌کند به‌طوری‌که مقدار و نوع کود مصرف‌شده با توجه به وضعیت عناصر غذایی و میزان تفاضی ثابت که در هر بخش کوچک از مزرعه متفاوت است، متناسب باشد (شکل ۹-۱۹). هنگام برداشت، یک دریافت‌کننده جی‌پی‌اس و یک وسیله‌ی خاص نظارت بر عملکرد، می‌تواند برای تهیه یک نقشه تفصیلی از عملکرد واقعی محصول (شکل ۹-۱۹ الف را مشاهده کنید) مورد استفاده قرار گیرند. این نقشه‌های عملکرد محصول، در تعیین مناطقی که در آن‌ها خصوصیات خاک مانند زه‌کشی ضعیف، ماده آلی کم و یا کمبود عناصر غذایی موجود است (البته تغییرات عملکرد ممکن است مربوط به عوامل غیرخاکی مانند نوع بذر کاشته‌شده، امراض، حشرات و یا چرای گوزن‌ها نیز باشد) می‌تواند بسیار مفید باشند.

^۱ -Satellite Constellation

^۲ -Geostatistical Computer Programs



شکل ۸-۱۹ نظام جی‌پی‌اس ماهواره‌ها و دریافت‌کننده‌ها. (الف) دریافت‌کننده جی‌پی‌اس از علائم رادیویی برای تعیین فاصله (d_1, d_2 و غیره) از هر یک چهار ماهواره استفاده می‌کند. گروه‌های فاصله در اطراف هر چهار ماهواره انفرادی فقط در یک محل در فضا به هم برخورد می‌کنند که همان محل دریافت‌کننده است. (ب) یک کارشناس با استفاده از خودرو زمین‌پیمای^۱ را که به یک دریافت‌کننده جی‌پی‌اس و یک رایانه مجهز است به نمونه‌برداری از خاک مشغول است. با پیمایش زمین به وسیله خودرو، رایانه محل آن‌را بر روی نقشه نشان داده و کارشناس را به یک شبکه از محل نمونه‌های خاک از قبل تعیین شده، هدایت می‌کند.

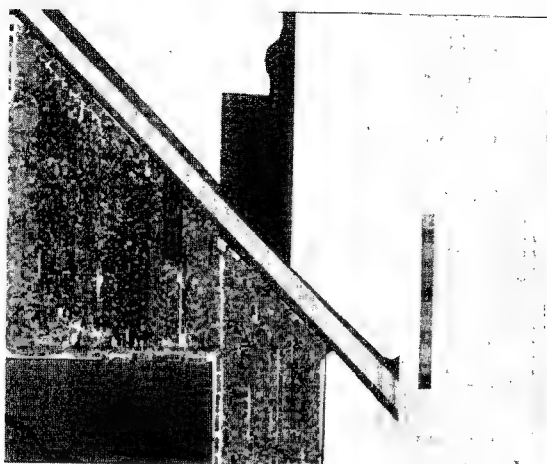
۵-۱۹ عکس‌های هوایی

اکثر عکس‌های هوایی از فیلم‌های عکاسی پانکروماتیک سیاه‌وسفید ساخته می‌شوند که دامنه‌ای از طول‌موج نور را که در ارتباط نزدیک با طیف موج قابل رؤیت با چشم‌های ما است، ثبت می‌کنند. عکس تولیدشده سیاه‌وسفید بوده و یا دقیق‌تر بگوییم شامل سایه‌های بسیاری از خاکستری می‌باشد. عکس‌های هوایی سیاه‌وسفید می‌توانند گنجینه‌ای از اطلاعات را درمورد اشکال اراضی، پوشش گیاهی، اثرات انسان‌ها و خاک‌ها ارائه دهند. اما برای تشخیص سایه‌های خاکستری مختلف و شیوه‌های مختلف سایه به‌عنوان انواع مختلف پوشش، حالت زه‌کشی و خاک تجربه لازم است.

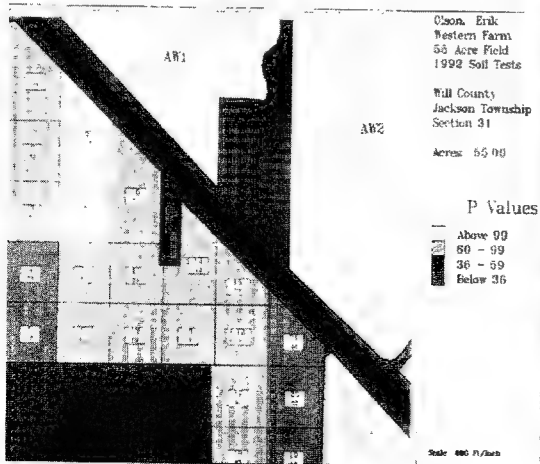
سایر فیلم‌ها، مانند رنگ طبیعی و یا مادون‌قرمز نیز برای عکس‌برداری هوایی مورد استفاده قرار می‌گیرند. چاپ سیاه‌وسفید از عکس‌های مادون‌قرمز معمولاً به وسیله مدیران جنگل مورد استفاده است، زیرا سوزن‌های درختان سوزنی‌برگ انرژی مادون‌قرمز را بسیار کامل‌تر از برگ سخت‌چوب‌ها جذب می‌کنند و سبب می‌شود سوزنی‌برگ با سایه تیره‌تر خود بر روی عکس به آسانی تشخیص داده شود.

از سال ۱۹۳۵، عکس‌های هوایی برای افزایش سرعت و صحت ایجاد نقشه‌های خاک مورد استفاده بوده‌اند. این عکس‌ها به محققین خاک حداقل از سه طریق کمک می‌کنند: (۱) تهیه نقشه پایه (۲) به‌عنوان منبعی از اطلاعات تلویحی، (۳) سنجش مستقیم خصوصیات خاک. عکس‌های هوایی به‌عنوان نقشه‌های پایه: یک عکس هوایی تفصیلی به دانشمند خاک اجازه می‌دهد موقعیت خود را در صحرا در ارتباط با چهره‌هایی مانند ساختمان‌ها، جاده‌ها و رودخانه‌ها که هم بر روی عکس و هم بر روی زمین قابل مشاهده می‌باشند، مشخص کنند. به‌عوض استفاده از تجهیزات نقشه‌برداری و میز نقشه‌کشی برای تهیه نقشه از کاغذ سفید، دانشمندان خاک می‌توانند مرزهای خاک را مستقیماً بر روی عکس هوایی ترسیم کنند. در این مورد عکس همانند یک نقشه پایه عمل می‌کند.

^۱ -All - terrain vehicle



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۹-۱۹ استفاده از فناوری جی‌پی‌اس در کشاورزی دقیق و یا کشاورزی خاص موردی. (الف) این نقشه‌ی عملکرد ذرت در کل مزرعه ذرت ۲۲ هکتاری به‌وسیله‌ی یک ماشین برداشت که مجهز به نظاره‌گر عملکرد جی‌پی‌اس بود تهیه شده است. هر نقطه بر روی نقشه با ثبت عملکرد ذرت به‌وسیله‌ی نظاره‌گر در هر چند متر که ماشین به بالا و پایین مزرعه حرکت می‌کند، ایجاد شده است. اندازه‌گیری هر عملکرد با یک نقشه موقعیت که به‌وسیله‌ی جی‌پی‌اس تهیه شده بود همراه است (ب) نقشه‌ای از همان مزرعه که فسفر قابل استفاده را در نمونه‌های جمع‌آوری شده از واحدهای یک هکتاری، که به‌وسیله‌ی جی‌پی‌اس جایابی شده است، نشان می‌دهد. (ج) یک نظام رایانه‌ای در تلفیق با جی‌پی‌اس در یک تراکتور که کود را در مزارع مختلف پخش می‌کند. صفحه رایانه یک نقشه که وضعیت فعلی تراکتور را در مزرعه مشخص کرده و محل مصرف مقادیر مختلف کود را نشان می‌دهد.

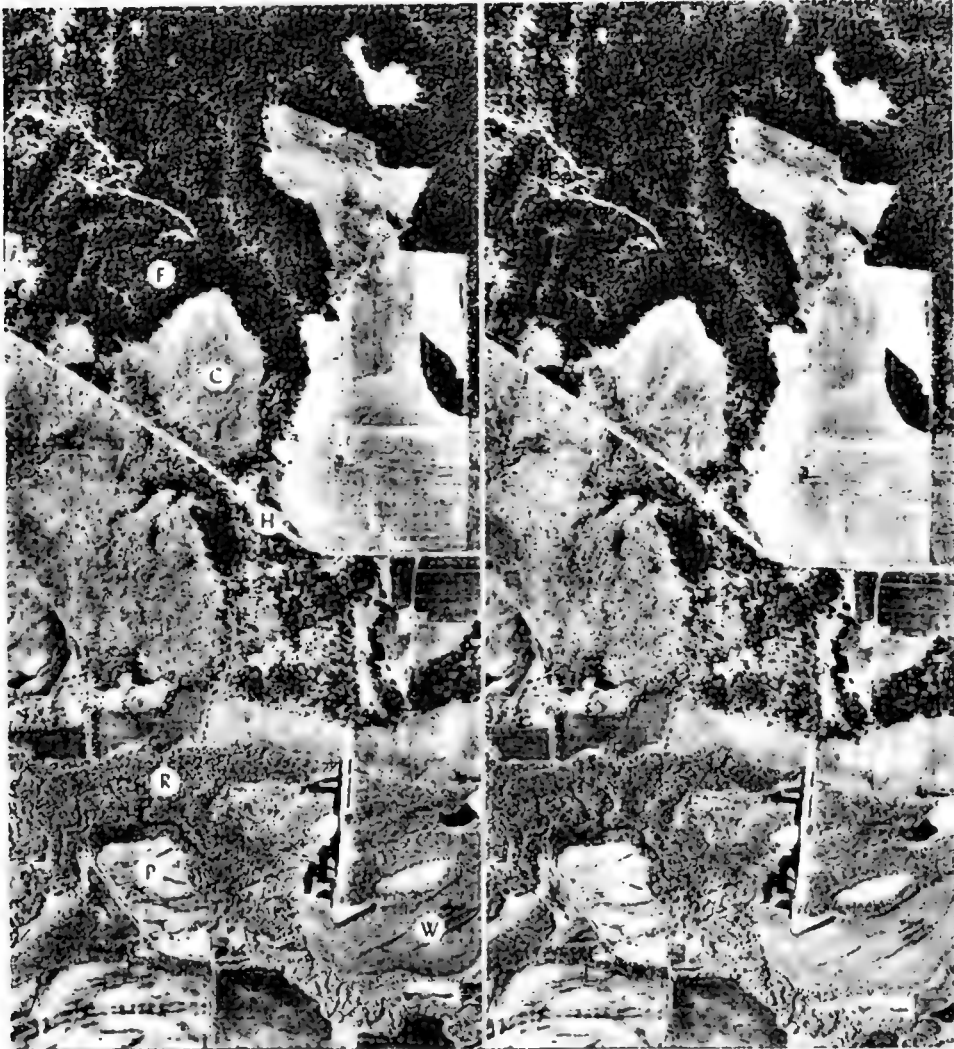
باید اشاره کرد که عکس‌های هوایی تصحیح‌نشده به شدت انحراف دارند، زیرا مناطقی که در نزدیکی حاشیه عکس قرار دارند، به‌مراتب دورتر از دوربین قرار دارند تا مناطقی که مستقیماً در زیر هواپیما قرار گرفته‌اند. همچنین، در اراضی تپه‌ماهور و کوهستانی رأس تپه‌ها و کوه‌ها در مقایسه با دره‌ها نزدیک‌تر به دوربین می‌باشند. یک عکس هوایی قائم (دارای مقیاس یکسان)^۱ عکس‌هایی هستند که این دو نوع انحراف در آن‌ها تصحیح شده است. در اکثر مطالعات خاک‌شناسی انتشار یافته عکس‌های هوایی قائم به‌عنوان نقشه‌های پایه مورد استفاده قرار گرفته، و مرزهای خاک بر روی آن ترسیم می‌شود.

عکس‌های هوایی به‌عنوان اطلاعات تلویحی^۲: بررسی‌های خاک‌شناسی معمولاً در ارتباط با چهره‌های خاک‌رخ و سایر اطلاعات زیر سطحی است. هرچند عکس هوایی انرژی تابشی انعکاس‌یافته از سطوح بالای زمین و یا در بهترین حالت چند سانتی‌متری فوقانی زمین را ثبت می‌کند با این وصف سایه‌ی سطح با شیوه و یا چهره‌های نشان‌داده بر روی عکس‌های هوایی اغلب در ارتباط با شرایطی زیرسطحی

^۱-Orthophotograph

^۲-Proxy information

است. وقتی دانشمند خاک یاد گرفت که این روابط چگونه هستند، عکس‌های هوایی می‌توانند به عنوان منبع اطلاعات تلویحی از شرایط خاک، مورد استفاده قرار گیرند.



شکل ۹-۱۰ یک زوج استریوسکپی عکس‌های هوایی که دارای هم‌پوشانی هستند از یک زمین‌نما دره ولت در غرب ایالت اورگن. خاک‌ها اکثراً هومولت^۱ و زرول^۲ می‌باشند. عکس چپ و راست همان منطقه را نشان می‌دهند اما وقتی هواپیما در دو موقعیت متفاوت بوده است عکس برداری شده‌اند. اگر یک استریوسکوپ جیبی را بر روی این عکس‌ها قرار دهید با گول‌زدن چشم‌ها دو منظره را از همان زمین‌نما به صورت سه‌بعدی نشان می‌دهند. به جنگل‌های سوزنی‌برگ (F) در زمین‌های پرشیب در $\frac{1}{3}$ فوقانی عکس بر روی بزرگراه (H) توجه کنید که شامل یک منطقه گرد جنگل‌تراشی شده (سایه‌های خاکستری متوسط C) به انضمام شبکه‌ای از جاده‌های حمل الوار^۳ (خطوط سفید به انضمام گره‌ها که مشخص‌کننده‌ی اراضی مسطحی است که در آن‌ها الوارها بر روی کامیون سوار می‌شده‌اند) در $\frac{1}{3}$ پایین عکس اراضی یک دره رودخانه‌ای مسطح است و نقطه‌های مرطوب (W) در اراضی کشاورزی مشاهده می‌شوند و یک رود پیچان^۴ (R) می‌تواند در $\frac{1}{4}$ پایین عکس مشاهده گردد حالت‌های خاک‌های آبرفتی در سیلدشت (P) مشخص است. اختلاف خاک‌ها به صورت سایه‌های خاکستری تیره در مزارع، که شخم خاک لغت را آشکار کرده است، قابل مشاهده است. مقیاس عکس ۱:۱۰۰۰۰۰ است.

^۱ -Humults

^۲ -Xerolls

^۳ -Logging road

^۴ -Meandering river

برای مثال، عکس‌هایی هوایی مستقیماً عمق سطح ایستابی را نشان نمی‌دهند، اما سایه‌های^۱ سیاه بیانگر خاک سطحی مرطوب غنی از ماده‌ی آلی بوده که ممکن است با سطح ایستابی کم عمق فصلی در ارتباط باشد. اگر دانشمند خاک بداند که یک نوع خاک به‌خصوص در مسیرهای زه‌کشی طبیعی وجود دارند، آن‌وقت مسیرهای زه‌کشی قابل مشاهده به وسیله‌ی حالت‌های سایه‌ی خاکستری تیره بر روی عکس هوایی به‌عنوان یک نشانه برای حفر خاک‌رخ و یا محل مته عمل می‌کند، زوج‌های استریوسکوپ عکس‌های هوایی (شکل ۱۰-۱۹) به نظاره‌گر یک منظره سه‌بعدی از سطح اراضی (اما با بُعد قائم اغراق‌آمیز است) ارایه می‌دهد، و به‌خصوص در جایابی مسیرهای زه‌کشی، بریدگی شیب و سایر چهره‌های پستی و بلندی مفیدند. این چهره‌ها خود در تعیین محل خاک‌ها به‌عنوان عضوی از خاک مجموعه‌ها و کاتنای زه‌کشی کمک می‌کنند. پوشش گیاهی معمولاً نشانه‌هایی را از خاک‌های زیرین ارایه می‌دهند. برای مثال، ممکن است یک نوع پوشش خاص که بر روی عکس هوایی قابل تشخیص است فقط در خاک‌های اراضی سدیمی دارای افق ناتریک رشد کنند. بنابراین، نوارهایی از این پوشش گیاهی بر روی عکس‌های هوایی مشخص‌کننده محل خاک‌های سدیمی می‌باشند.

شیوه‌های زه‌کشی قابل مشاهده بر روی عکس‌های هوایی معمولاً بیانگر سرشت خاک‌ها و مواد مادری می‌باشند. برای مثال، بسیاری از خندق‌ها و رودخانه‌های نزدیک بهم (با فاصله کمتر از ۱ سانتی‌متر بر روی عکس‌های هوایی ۱:۲۰۰۰۰) بیانگر سنگ بستر نسبتاً غیرقابل نفوذ، و یا خاک‌های رسی با نفوذپذیری کم می‌باشند. مثال دیگر خاک‌هایی سیلنی تکامل یافته در لس معمولاً یک زه‌کشی پرماند^۲ تولید می‌کنند که در آن بسیاری از خندق‌های کوچک و رودخانه‌ها از رودخانه کاملاً مستقیم بزرگ‌تر در زوایای که کمی کمتر از ۹۰ درجه است منشعب می‌گردند. این تفسیرها می‌تواند مطالعات خاک‌شناسی را با خذف نیاز به بررسی هر واحد نقشه بر روی زمین تسریع کند. گرچه، روابط بین حالت‌های موجود بر روی عکس هوایی و خصوصیات خاک پس از انجام مطالعات زمینی در هر خاک مجموعه و یا نوع زمین‌نما باید برقرار گردد. روابط چنین تعیین شده فقط در زمین‌نماهایی با مساحت محدود معمولاً ۵۰۰ تا ۱۵۰۰ کیلومتر مربع صحیح می‌باشد.

سنجش مستقیم خصوصیات خاک

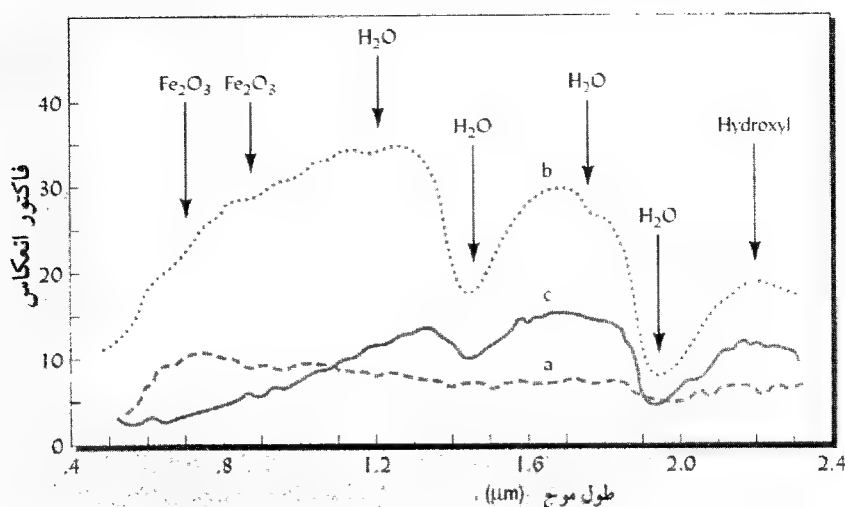
خصوصیات خاک، به‌ویژه ۲ تا ۲۰ میلی‌متری فوقانی سبب تغییر حالت چگونگی انعکاس طول‌موج‌های مختلف انرژی تابشی به وسیله‌ی خاک سطحی می‌گردد (شکل ۱۱-۱۹ را مشاهده کنید). بنابراین، براساس نظارت به‌عمل آمده بر طول‌موج، تعدادی از خصوصیات خاک می‌توانند به‌طور مستقیم سنجش گردیده و ثبت گردند. خصوصیات خاک که به‌طور موفق‌آمیزی به وسیله‌ی سنجش از دور مشخص می‌شود، شامل میزان کانی موجود، یافت، میزان رطوبت خاک، میزان ماده‌ی آلی، میزان اکسید آهن، بازتاب (انعکاس کلی نور)، دما و ساختمان خاک می‌باشد. سنجش مستقیم خصوصیات خاک معمولاً نیازمند سنجشگر از راه دور تنظیم شده در طول‌موج به‌خصوص و یک برنامه رایانه‌ای است که برای تفسیر اطلاعات مختلف طراحی شده باشد.

نمونه‌ای از تفسیر رایانه‌ای تجزیه و تحلیل تصاویر ویدیویی^۳ است که در آن عکس‌های هوایی برای تشخیص ۲۵۶ نوع سایه‌های خاکستری (درمقایسه با چشم انسان که قادر به تشخیص ۳۲ عدد است) مورد آزمایش قرار می‌گیرد. این سایه‌های خاکستری و یا تُن (سایه‌ی) عکس، در ارتباط با تغییرات خاک و پوشش گیاهی است. با استفاده از فناوری‌های رایانه‌ای چندانموند اختلافات خاک می‌تواند تحقق یابد. باید تکرار کرد که تفسیر اطلاعات سنجش‌شده از دور باید با رفتن به منطقه و استفاده از مته برای بررسی انواع خاک و مرزبندی آن‌ها با حقایق زمینی واسنجی گردد.

^۱ -Tone

^۲ -Pinnate drianage

^۳ -Video Image Analysis (VAI)



شکل ۱۱-۱۹ منحنی‌های طیف نشان‌دهنده‌ی انعکاس طول‌موج‌های مختلف انرژی به‌وسیله‌ی سه نوع خاک. نوارهای جذبی آب زیاد و آهن (انعکاس کمتر) به‌وسیله‌ی پیکان‌ها نشان داده شده‌اند. میزان آهن زیاد در همبستگی با انعکاس کمتر در نوارهای مربوط به اکسیدهای آهن است، درحالی‌که ماده‌ی آلی زیاد سبب انعکاس کمتر در نوار هیدراکسیل می‌شود. خاک‌های معرفی‌شده عبارتند از: (الف) یک خاک Typic Haplaquoll دارای ۵/۶ درصد ماده‌ی آلی، ۲۰/۸ درصد اکسید آهن و ۴۱ درصد آب؛ خاک (ب) یک Typic Calcicambid، با ۶/۶ درصد ماده‌ی آلی، ۰/۳ درصد اکسید آهن و ۱۷ درصد آب؛ و خاک (ج) یک خاک Typic Haplorthox با ۲/۳ درصد ماده‌ی آلی، ۲۶ درصد اکسید آهن و ۳۳ درصد آب.

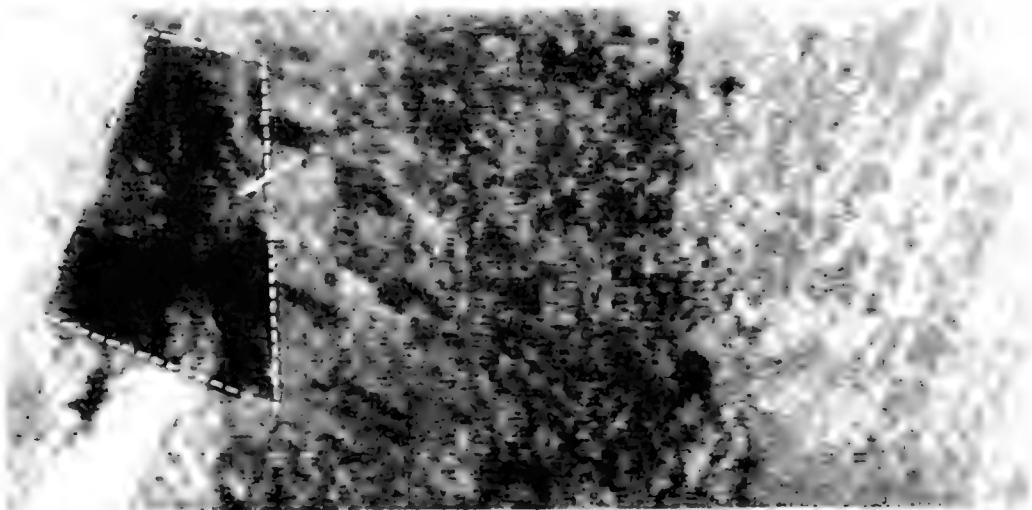
۱۹-۶ تصاویر ماهواره‌ای

بسیاری از اصول و فناوری‌های که هم‌اکنون درمورد عکس‌های هوایی مورد اشاره قرار گرفت، درمورد تصاویر ماهواره‌ای نیز صادق است. هرچند تصاویر ماهواره‌ای قابل‌استفاده از ماهواره‌های پیشرفته موجود در مدار زمین درمقایسه با انواع عکس‌های هوایی ذکرشده بسیار پیچیده و متنوع‌تر می‌باشند. اکثر تصاویر ماهواره‌ای از تجزیه و تحلیل رایانه‌ای اطلاعات عددی حاصل از اسکن‌کننده‌های چند نوری به جای دوربین‌های فیلم‌برداری تولید می‌شود. تصاویر معمولاً با طبقه‌بندی هر سلول (پیکسل) تصویر در ارتباط با نوع پوشش، نوع خاک، نوع استفاده و یا موارد مشابه قابل به‌ترگشتن رایانه‌ای می‌باشند. این طبقه‌بندی براساس تشخیص رایانه‌ای شیوه و یا علایم تشخیص انعکاس پوشش سطح اراضی در طول‌موج‌های مختلف (همانند آنچه که در شکل ۱۱-۱۹ آمده است) می‌باشد. یک تصویر ممکن است اطلاعات سنجنش شده به‌وسیله‌ی ابزارهای مختلف را حتی بعضی مواقع در تاریخ‌های مختلف باهم ادغام کند. دراین صورت ترکیب طیف می‌تواند برای تشخیص انواع پوشش‌ها، خصوصیات خاک، چهره‌های کشت‌وکار آب و غیره مورد استفاده قرار گیرد.

قدرت تشخیص تصاویر ماهواره‌ای که امروزه موجود است به اندازه‌ی عکس‌های هوایی مقیاس درشت بالا نیست، اما طی سال‌ها مرتب بهبود یافته است. امروزه تصاویر با قدرت تشخیص ۱۰ متر در ماهواره‌های فرانسوی اسپات موجود است. شکل ۱۲-۱۹ بهبود قدرت تشخیص را بین فناوری‌های ماهواره‌ای لندنست امروزی و اولیه تشریح می‌کند. تصویر قدیمی (در سال ۱۹۷۳) ایجادشده دارای قدرت تشخیص نسبتاً پایین ۸۰ متر است درحالی‌که تصاویر جدیدتر (از سال ۱۹۹۰) دارای قدرت تشخیص ۳۰ متر می‌باشند. توجه کنید که قدرت تشخیص بالا سبب ایجاد یک تصویر روشن‌تر و با جزئیات بیشتر می‌شود. اختلاف در قدرت تشخیص در تمیز نهرهای زه‌کشی (پیکان) در این منطقه خشک افغانستان آشکار است.

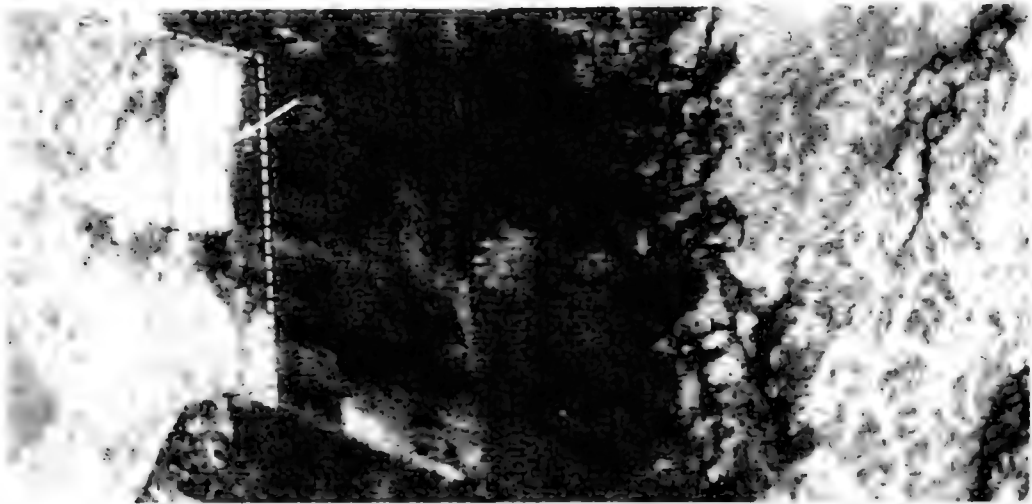
این زوج تصاویر لندنست ظرفیت تصاویر چندطیفی را برای نمایش شرایط خاک مشخص می‌سازد. مواد مادری خاک منطقه به‌طور طبیعی از نظر نمک‌های محلول بالاست. وقتی آبیاری بدون زه‌کشی مناسب سبب بالا آمدن سطح ایستابی شد (دراثر سایه‌ی سیاه خاک مرطوب در سال ۱۹۷۳ آشکار است)، تبخیر از آب زیرزمینی سبب تجمع نمک‌ها در خاک‌های سطحی گردید (به‌وسیله‌ی خاک‌های سفید بایر در سال ۱۹۹۳ قابل‌مشاهده است). نبود مدیریت مناسب در نهرهای زه‌کشی ممکن است در ارتباط با تحولات سیاسی و مسائل جنگ باشد که در افغانستان در بین تاریخ تصاویر در جریان بوده است.

ظرفیت تصاویر ماهواره‌ای برای نشان‌دادن اشکال اراضی و پوشش گیاهی در طول یک منطقه‌ی وسیع در شکل ۱۳-۱۹ تشریح شده است. این تصویر را به‌دقت مورد بررسی قرار دهید. این یک عکس سیاه‌وسفید تکثیر شده از تصاویر رنگی کاذب لندست در دره‌ی پالورده^۱ است، که رود کلرادو مرز بین کالیفرنیا و آریزونا را تشکیل می‌دهد. تصویر ترکیبی از سه باند (نوار) طیفی مختلف می‌باشد. کوه‌های مضرس و آبرفت‌های بادبزنی در اطراف یک دره نسبتاً مسطح تحت آبیاری قابل مشاهده است. زمین‌های خشک فی‌الواقع از پوشش گیاهی عاری می‌باشد به‌استثنای مزارع مستطیلی که در آن‌ها آب آبیاری مصرف می‌شود. دوایر کوچک در نصف بالای عکس نظام آبیاری گردان (ستر پیوت)^۲ که سبب ایجاد پوشش فراوان سبز (قرمز در تصویر اصلی) در مزارع دایره‌ای شکل تقریباً با قطر ۱ کیلومتر می‌شود به شبکه‌ی خیابان‌ها توجه کنید که شهر پالورده را در نزدیکی مرکز طرح آبیاری تشکیل می‌دهد.



Landsat Multispectral Image
Bands 1-2-4

28 June 7:



شکل ۱۲-۱۹ نسخه‌ی سیاه‌وسفید دو تصویر رنگی کاذب ماهواره‌ای لندست که نشان‌دهنده‌ی بخشی از یک طرح آبیاری در مرجای غربی در افغانستان است. عکس بالایی یک تصویر چند نوازی لندست است که در سال ۱۹۷۳ گرفته شده است؛ عکس پایین تصویر رقومی نقشه‌کش لندست می‌باشد که در سال ۱۹۹۰ برداشت شده است. هر تصویر از سه باند طیفی استفاده کرده است، سایه‌های سفید شدیداً آنمکاس یافته بیانگر اراضی بایر شور می‌باشد. اراضی سیاه‌رنگ بیانگر زراعت‌های آبی است که اشباع از آب می‌باشند. سایه‌های متوسط خاکستری (در تصویر اصلی قرمز) بیانگر اراضی آبی با زه‌کشی مناسب است. این طرح در سال ۱۹۷۳ مساحتی در حدود ۱۰۰۰ هکتار (محدوده مشخص شده است) داشته است، که به‌نظر می‌رسد زیر کشت‌وکار باشد اما احتمالاً به علت بسته‌بودن خروجی زه‌کش‌ها از آب اشباع شده است. به نظر می‌رسد که همان منطقه در سال ۱۹۹۰ شور شده و متروکه گردیده است.

^۱ -Paloverde

^۲ -Center – pivot Irrigation system

تصویر بخش مستطیلی مشخص شده در دره‌ی پالورده به صورت تابلو رنگی ۳۵ بزرگ شده است. مطالب زیادی را می‌توان با بررسی دقیق این تابلو رنگی یاد گرفت. به رنگ‌های متفاوت آبی- خاکستری، که بیانگر اختلافات قابل مشاهده خاک از مزارع بایر است توجه کنید. اراضی با رنگ قرمز روشن بیانگر زراعت‌های متراکم‌تر است، خطوط موج قرمز به طرف شرق رود کلرادو بیانگر پوشش طبیعی و گیاهانی است که در آب‌کندها و مسیرهای زه‌کشی رویده‌اند و آب کمی را در این منطقه خشک جمع‌آوری می‌کنند. بسیاری از مناطق بایر که به وسیله‌ی خطوط زرد مشخص شده‌اند به این تصاویر در یک برنامه GIS افزوده شده‌اند. قطعات با خطوط زرد مشخص شده، آن اراضی می‌باشند که شهر لوس آنجلس به مالکان آن‌ها در مقابل بایر گذاشتن آن‌ها پول داده است تا شهر بتواند آب لازم خود را بدون مصرف آن‌ها برای آبیاری به دست آورد. تصویر ماهواره‌ای برای کسب اطمینان از اجرای قرارداد به وسیله‌ی بهره‌بردارانی است که در این برنامه شرکت داشتند.

مثال آخر از تصاویر در تابلو رنگی ۳۴ نشان داده شده است که یک تصویر نقشه حوزه رودخانه پتامیک در جنوب ایالت واشنگتن دی‌سی می‌باشد که شامل بخش‌هایی از مرلند جنوبی و ویرجینیای شمالی است. چگونگی کاربری‌های عمده به روشنی قابل مشاهده است. اراضی شهری واشنگتن و حومه آن با سایه‌های آبی خاکستری نشان داده شده‌اند (اراضی عمارات کنگره‌ی ایالات متحده به صورت نقطه‌ی سفید قابل مشاهده است که با چمن‌های مربعی تیره احاطه شده‌اند). به نظر می‌رسد مقدار زیادی رسوب (رنگ‌های زرد و قهوه‌ای) از رودخانه‌هایی که حومه‌های جنوبی شهر را تخلیه می‌کنند، وارد رودخانه پتامیک می‌شود، دلیل آن احتمالاً اداره‌ی ضعیف مناطق ساختمان‌سازی است. جنگل‌ها سبز به نظر می‌رسند. اکثر مزارع زراعی زرد کم‌رنگ (ذرت و سویای رسیده) می‌باشند. اراضی با رنگ قرمز بیانگر هیستوسول‌ها و سایر خاک‌های مرطوب حاصل از باتلاق‌های جزرومدی در طول رودخانه پتامیک و مصب رودخانه در خلیج چزاپیک است. خلیج خود به رنگ آبی تیره‌ی آب در منتهی‌الیه راست دیده می‌شود. تصویری چنین برای بررسی منابع و برنامه‌ریزی منطقه‌ای بسیار مفید است. تعداد و فناوری تصاویر موجود برای تحقیقات خاک به سرعت در حال افزایش بوده، و چالش‌ها و امکاناتی را برای دانشمندان خاک، که دارای تخصص اطلاعات جغرافیایی در خاک هستند، فراهم می‌کند.

۷-۱۹ مطالعات شناسایی خاک

مطالعات شناسایی خاک به مراتب دارای اطلاعات بیشتری از یک نقشه‌ی خاک است. در فرهنگ لغات، مطالعات شناسایی خاک چنین تعریف شده است «آزمایش، تشریح، طبقه‌بندی و تهیه نقشه خاک یک منطقه به‌طور اصولی». در شرایط خاصی دانشمندان خاک مطالعات شناسایی خاک را با هدفی خاص انجام می‌دهند که در آن مرزبندی و تشریح پیکره‌ی طبیعی خاک موردنظر نبوده اما هدف اصلی آن‌ها تهیه نقشه توزیع جغرافیایی خصوصیات موردنظر خاک، مانند تناسب برای اجرای طرح‌های آبیاری و یا توافق بر روی تعریف قانونی اراضی باتلاقی است. مطالعات شناسایی خاک در صورت تشریح و مرزبندی پیکره‌های طبیعی خاک بسیار سودمندند. وقتی کالبدهای طبیعی خاک مشخص گردید و خصوصیات آن‌ها مورد تشریح قرار گرفت، مطالعات شناسایی خاک می‌تواند در تفسیر تناسب برای انواع کاربری‌ها، نه تنها آن کاربری که در آغاز مطالعات منظورنظر بوده، مورد استفاده قرار گیرند.

اقدامات اساسی برای انجام مطالعات شناسایی خاک به شرح زیر می‌باشد:

- ۱- تهیه نقشه خاک. که در بخش ۱-۱۹ تا ۳-۱۹ تشریح گردید.
- ۲- مشخص کردن واحدهای تهیه نقشه. بخش ۲-۱۹ را مشاهده کنید.
- ۳- طبقه‌بندی واحدهای تهیه نقشه. فصل ۳ و بخش ۲-۱۹ را مشاهده کنید.
- ۴- ایجاد همبستگی با سایر مطالعات شناسایی خاک. وقتی جمعی از دانشمندان خاک یک نقشه خاک را به اتمام می‌رسانند، این نقشه خاک به وسیله‌ی سایر دانشمندان خاک مورد ارزیابی قرار گرفته تا مشخص شود مرزهای خاک تعیین شده با مرز خاک‌ها در مناطق مجاور مطابقت می‌کند و مشخصات و طبقه‌بندی واحدهای نقشه با سایر مطالعات هماهنگی دارد.
- ۵- تفسیر تناسب خاک برای کاربری‌های مختلف. یک گزارش مکتوب با نقشه خاک برای تشریح تناسب هر واحد نقشه برای کاربری‌های مختلف همراه است. جدول تفسیری در گزارش بیانگر تجارب و مشاهدات چند ساله افراد و همچنین تفسیرهای استاندارد از خصوصیات اندازه‌گیری شده خاک می‌باشد.



شکل ۱۳-۱۹ نسخه‌ی سیاه‌وسفید از یک تصویر نقشه‌ی لندست از دره‌ی تحت آبیاری پالورده در مرزین کالیفرنیا و اریزونا. تصویر ترکیبی از نوار ۲ (سبز) و نوار ۳ (قرمز) و نوار ۴ (نزدیک مادون‌قرمز) می‌باشد. چهارگوش مشخص‌شده در تابلو رنگی ۳۵ تکثیر شده است.

ممکن است مطالعات شناسایی خاک در سطوح مختلف انجام گیرد، که از مطالعات خیلی تفصیلی که فی‌الواقع برای جداکردن هر نوع پیکره‌ی خاک در زمین‌نما (رده‌ی اول) تا مطالعات اجمالی عمومی از یک منطقه بزرگ و یا یک قاره (رده‌ی پنجم) متغیر می‌باشند. انواع مختلف واحدهای نقشه و منابع اطلاعات سنجش شده از دور برای رده‌های مختلف مطالعات خاک‌شناسی مورد استفاده‌اند (جدول ۳-۱۹).

مقیاس نقشه

مقیاس نقشه عبارت است از نسبت طول بر روی نقشه بر طول واقعی بر روی زمین، مقیاس ۲۰۰۰۰:۱ معمولاً برای مطالعات تفصیلی به کار می‌رود که در آن یک سانتی‌متر بر روی نقشه معادل ۲۰۰۰۰ سانتی‌متر (۰/۲ کیلومتر) بر روی زمین است. مقیاس فاقد بُعد است، بنابراین، ۱ اینچ بر روی همان نقشه بیانگر ۲۰۰۰۰ اینچ (۰/۳۱۶) مایل بر روی زمین می‌باشد.

واژه‌های مقیاس بزرگ و مقیاس کوچک بعضی مواقع مردم را به اشتباه می‌اندازد. یک نقشه مقیاس کوچک نقشه‌ای است که دارای نسبت مقیاس کمتری است (برای مثال ۱:۱۰۰۰،۰۰۰ = ۱/۰۰۰۰۰۰) که در آن یک شئ مورد نظر مانند ۱۰۰ هکتار فقط نقطه‌ی کوچکی را شامل می‌شود. برعکس نقشه مقیاس بزرگ دارای نسبت مقیاس بزرگ‌تری است (برای مثال ۱:۱۰۰۰۰ = ۱/۰۰۰۰۰)، و ۱۰۰ هکتار بخش بزرگی از نقشه را شامل می‌گردد.

جدول ۳-۱۹ رده‌های مختلف مطالعات شناسایی خاک

ممکن است مطالعات شناسایی خاک در مقیاس‌های مختلف انجام شود، که از مطالعات تفصیلی قطعات کوچک اراضی تا مطالعات کلی مناطق وسیع متغیر می‌باشد. انواع مختلف واحدهای نقشه و اطلاعات سنجش‌شده از دور برای تولید رده‌های مختلف مطالعات خاک‌شناسی به کار می‌روند. راهنمایی‌های به‌عمل‌آمده در این جداول باید قابل انعطاف و تقریبی در نظر گرفته شوند.

رده‌ی مطالعات شناسایی خاک

رده‌ی اول	رده‌ی دوم	رده‌ی سوم	رده‌ی چهارم	رده‌ی پنجم	
متمرکز	تفصیلی	نیمه تفصیلی	اجمالی	اجمالی	نوع مطالعه
۱:۱۰۰۰ ۱:۱۵۰۰۰	۱:۱۲۰۰۰ ۱:۳۲۰۰۰	۱:۲۰۰۰۰ ۱:۶۵۰۰۰	۱:۵۰۰۰۰ ۱:۳۰۰۰۰۰	۱:۲۵۰۰۰۰ ۱:۱۰۰۰۰۰۰	مقیاس مطالعه
< ۰/۵ هکتار	۰/۵ - ۴ هکتار	۱/۵ - ۱۵ هکتار	۱۵ - ۲۵۰ هکتار	۲/۵ - ۵۰۰ کیلومتر مربع	اندازه‌ی واحد نقشه
فازهای یک سری	سری‌ها، فازهای یک سری	خانواده‌ها، سری‌ها و فازهای یک سری	گروه‌های بزرگ، زیرگروه‌ها و خانواده‌ها	راسته‌ها، زیرراسته‌ها و گروه‌های بزرگ	اجزای واحد نقشه
اکثر آ خاک مجموعه‌های همسان یا بعضی خاک‌های مرکب	خاک مجموعه‌های همسان و مرکب یا اندکی خاک مجموعه‌ها	خاک مجموعه‌ها و یا مرکب با بعضی خاک مجموعه‌های همسان	خاک مجموعه‌ها و بعضی خاک‌های مرکب ^۱ و خاک مجموعه‌های همسان	خاک مجموعه‌ها ^۱ ، بعضی خاک مجموعه‌های همسان ^۲ و گروه‌های تفکیک نشده ^۳	انواع واحد نقشه
					منابع سنجش از دور

استفاده از شناسایی خاک در برنامه‌ریزی اراضی	تعیین منابع	موقعیت‌یابی طرح	امکان اجرا	مطالعات مدیریتی
--	-------------	-----------------	------------	-----------------

¹-Soil association

²-Soil consociation

³-Undifferentiated groups

⁴-Soil complex

واحدهای نقشه^۱

رده‌بندی خاک (و یا سایر طبقه‌بندی‌ها، فصل ۳ را مشاهده کنید) معمولاً مبنای انجام یک مطالعه شناسایی خاک می‌باشد. از آن‌جاکه چهره‌های محلی و نیازمندی‌ها سرشت نقشه خاک و در نتیجه، واحدهای خاص خاک را که نقشه آن‌ها تهیه می‌شود به ما تحمیل می‌کنند، ممکن است واحدهای نقشه‌ی صحرایی از واحدهای طبقه‌بندی که در رده‌بندی یافت می‌شوند تا حدی متفاوت باشند. واحدهای نقشه ممکن است بیانگر تفاوت بیشتری در زیر سطح سری‌های خاک باشند، که به آن فاز خاک گفته می‌شود، و یا تهیه‌کنندگان نقشه خاک ممکن است تصمیم گیرند که خاک مجموعه و یا مجموعه خاک همسان را با همدیگر در یک واحد نقشه ادغام کنند. مثال‌هایی از این واحدهای نقشه در زیر آمده است.

فاز خاک: گرچه به‌طور فنی رده‌بندی خاک فاز را شامل نمی‌گردد، فاز از تقسیمات فرعی بوده که بر روی بعضی از انحرافات مهم از سری اصلی که در کاربری خاک اثر می‌گذارد، متکی است، مانند بافت خاک سطحی، درجه فرسایش، شیب، سنگی بودن و یا میزان نمک‌های محلول. بنابراین، یک خاک لوم شنی سسیل^۲ با شیب ۵-۳ درصد و لوم سیلتی هاگرتاون^۳ با فاز قلوه‌سنگی مثال‌هایی از فازهای سری خاک هستند.

خاک مجموعه‌ی همسان^۴: کوچک‌ترین واحد نقشه عملی برای مطالعات شناسایی خاک بسیار تفصیلی منطقه‌ای است که شامل عمدتاً یک سری خاک و معمولاً فقط یک فاز از آن سری می‌باشد. برای مثال، یک واحد نقشه ممکن است به‌صورت خاک مجموعه همسان (لوم سیلتی سایبروک ۲ تا ۵ درصد شیب، با فرسایش متوسط) نامگذاری شود. ممکن است استانداردهای کنترل کیفیت برای مطالعات شناسایی خاک بخش مشخص کند که یک واحد نقشه خاک مجموعه‌ی همسان باید ۵۰ درصد خالص بوده و بخش ناخالص باید چنان با فاز نام‌گذاری شده مشابه باشد که اختلافات در مدیریت اراضی تأثیری نداشته باشد. این بدان معنی است که اگر شما در زمینی که تحت عنوان خاک مجموعه‌ی همسان نقشه آن تهیه شده است ۲۰ مته حفر کنید، حداقل ۱۰ مته باید خصوصیات مشخص شده برای سری لوم سیلتی سایبروک را آشکار سازد. هرچند قابل‌انتظار است که تعداد اندکی از مته‌ها خاک‌های مشابهی را مانند لوم سیلتی کاتلینا^۵ شامل گردد که در آن لایه لسی مقداری ضخیم‌تر از سایبروک است اما ارزیابی آن‌ها از نظر کاربری مشابه می‌باشد. خاک‌های نامتجانس ضمیمه باید کمتر از ۱۵ درصد خاک مجموعه همسان را شامل گردد.

خاک‌های مرکب و یا خاک مجموعه‌ها: بعضی مواقع خاک‌های نامتجانس چنان در کنار هم قرار می‌گیرند که جداکردن هر نوع خاک بر روی نقشه خاک اگر غیرممکن نباشد مشکل است. در این موارد خاک مرکب در روی نقشه خاک مشخص می‌شود و توضیحاتی درمورد خاک‌های موجود در خاک مرکب در گزارش شناسایی خاک می‌آید. یک خاک مرکب معمولاً شامل ۲ و یا ۳ نوع سری خاک مجزا است. همان‌طور که در بخش ۱-۱۹ تشریح شد، نقشه‌های نسبتاً مقیاس بزرگ (رده‌ی سوم جدول ۳-۱۹) ممکن است فقط خاک مجموعه‌ها را به نمایش بگذارند، که عبارتست از گروه‌بندی کلی خاک‌هایی که به‌طور شاخص با همدیگر در یک زمین‌نما یافت شده و باید نقشه آن‌ها جداگانه تهیه گردد.

گروه‌های تفکیک‌نشده: این واحد نقشه شامل خاک‌هایی است که به‌طور معمول با همدیگر یافت نمی‌شوند، اما با همدیگر گروه‌بندی و نقشه آن‌ها تهیه می‌گردد، زیرا تناسب مدیریت آن‌ها برای کاربری‌های معمول بسیار مشابه است.

۸-۱۹ گزارش مطالعات شناسایی خاک بخش‌ها و استفاده از آن

در آمریکا ۵۰ سال تلاش متمرکز برای تکمیل یک نقشه‌ی تفصیلی شناسایی خاک از سراسر کشور بخش به بخش درحال انجام است در بسیاری از ایالات‌ها هنوز نقشه خاک بسیاری از بخش‌ها تهیه نشده است، در دیگر بخش‌ها نقشه‌ی خاک ده‌ها سال قبل تهیه و مطالعات آن‌ها به‌روز شده است. این مطالعات شناسایی خاک با نام همکاری ملی شناسایی خاک^۶ حاصل یک تلاش مشترک، دولت مرکزی ایالتی و حکومت‌های محلی می‌باشد. نقش اصلی حکومت مرکزی به‌وسیله‌ی سازمان حفاظت منابع طبیعی^۷ وزارت کشاورزی امریکا انجام می‌شود.

¹ -Mapping unit

² -Cecil sandy loam

³ -Hager town

⁴ -Consociation

⁵ -Catlina silt loam

⁶ -National cooperative soil survey

⁷ -National Resources Conservation Service

بعضی مواقع دیگر سازمان‌های دولت مرکزی مانند دفتر مدیریت^۱ اراضی و یا سازمان جنگل‌ها^۲ در این امر مشارکت دارند. سازمان همکاری‌کننده در سطح ایالتی معمولاً ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی همکار با دانشگاه‌های تحت حمایت دولت مرکزی^۳ (طرح اهدای زمین دولتی) ایالتی می‌باشند. حال گزارش شناسایی خاک بخش و استفاده از آن را مورد ملاحظه قرار می‌دهیم.

یک گزارش نوین شناسایی خاک بخش شامل دو قسمت عمده است: (۱) نقشه خاک، و (۲) اطلاعات تشریحی همراه آن از واحدهای نقشه و تناسب آن‌ها برای کاربری‌های مختلف. در عمل، بخش تشریحی گزارش به‌عنوان یک راهنمای کامل در توضیح نقشه خاک عمل می‌کند. نقشه‌ی شناسایی خاک عمومی: این نقشه شناسایی خاک شامل دو بخش است. بخش اول نقشه‌ی عمومی خاک رده چهار (جدول ۳-۱۹) در سرتاسر بخش است که به‌صورت رنگی در مقیاس حدوداً ۱:۲۰۰,۰۰۰ چاپ شده است (شکل ۱۴-۱۹ الف). این نقشه‌ی خاک مجموعه‌ها همراه را که در مناطق فیزیوگرافی اصلی مناطق بخش گروه‌بندی شده‌اند، نشان می‌دهد. نقشه خاک عمومی از نظر ارایه یک دید کلی از منابع اراضی بخش مفید، اما برای برنامه‌ریزی محلی بسیار کلی است. همراه با نقشه‌ی خاک‌شناسی عمومی یک نقشه راهنما برای نقشه‌های خاک‌شناسی تفصیلی وجود دارد. این نقشه‌ی راهنما در همان مقیاس نقشه خاک‌شناسی عمومی چاپ شده و به بخش‌های متعدد مستطیل شکل تقسیم شده است، که هرکدام یک برگ نقشه تفصیلی خاک را شامل می‌شود. نقشه راهنما چهره‌های غیرخاکی بسیاری را مانند جاده‌ها، شهرها، رودخانه‌ها نشان داده و کاربر را قادر می‌سازد که برگ نقشه را با محل مورد نظر تطابق دهد.

برگ‌های نقشه تفصیلی: بخش دوم نقشه‌ی خاک بخش نقشه تفصیلی (رده دوم از جدول ۳-۱۹) است که شامل برگ‌های متعدد جداگانه می‌باشد (شکل ۱۴-۱۹ ب) که معمولاً تا شده و در پیوست با پشت جلد گزارش خاک‌شناسی است. هر برگ نقشه مساحتی در حدود ۲۰ تا ۳۰ کیلومتر مربع را پوشانده و معمولاً در مقیاس ۱:۱۲۰۰۰، ۱:۱۵۸۰۰، ۱:۲۰۰۰۰ و ۱:۲۴۰۰۰ می‌باشد. در این مقیاس‌ها تک‌درخت و منازل بروی عکس‌های هوایی مبنای نقشه، قابل تشخیص بوده و مساحتی از خاک با کوچکی یک هکتار قابل جداشدن است (شکل ۱۴-۱۹ ج). واحدهای نقشه عمدتاً خاک مجموعه‌ها که شامل فازهای خاک بوده، و بنابراین، نقشه تفصیلی برای برنامه‌ریزی محلی فوق‌العاده مفید می‌باشد. اطلاعات تفسیری: استفاده از مطالعات شناسایی خاک بخش برای کاربری اراضی و یا برنامه‌ریزی محلی نیازمند این است که اطلاعات جغرافیایی بروی نقشه با اطلاعات تشریحی در گزارش تلفیق شوند. گزارش معمولاً شامل تشریح خاک‌رخ در تمام واحدهای نقشه، و همچنین جداولی است که حاوی اطلاعات خصوصیات خاک و مراتب تفسیر برای واحدهای نقشه است. مطالعات قدیم شناسایی خاک اطلاعات تفسیری درمورد پتانسیل تولید برای اکثر محصولات محلی، تناسب خاک‌ها در روش‌های مختلف آبیاری، نیازهای زه‌کشی خاک‌ها، طبقه‌بندی قابلیت اراضی هر واحد نقشه و سایر اطلاعات مفید را در تولید نقشه‌های مزایع ارایه می‌کنند. مطالعات جدیدتر همچنین اطلاعات تفسیری درمورد استفاده‌های غیرکشاورزی مانند زیستگاه وحوش، جنگل، طراحی فضای سبز، دفع زباله، ایجاد ساختمان و منابع مصاد جاده‌سازی ارایه می‌کنند.

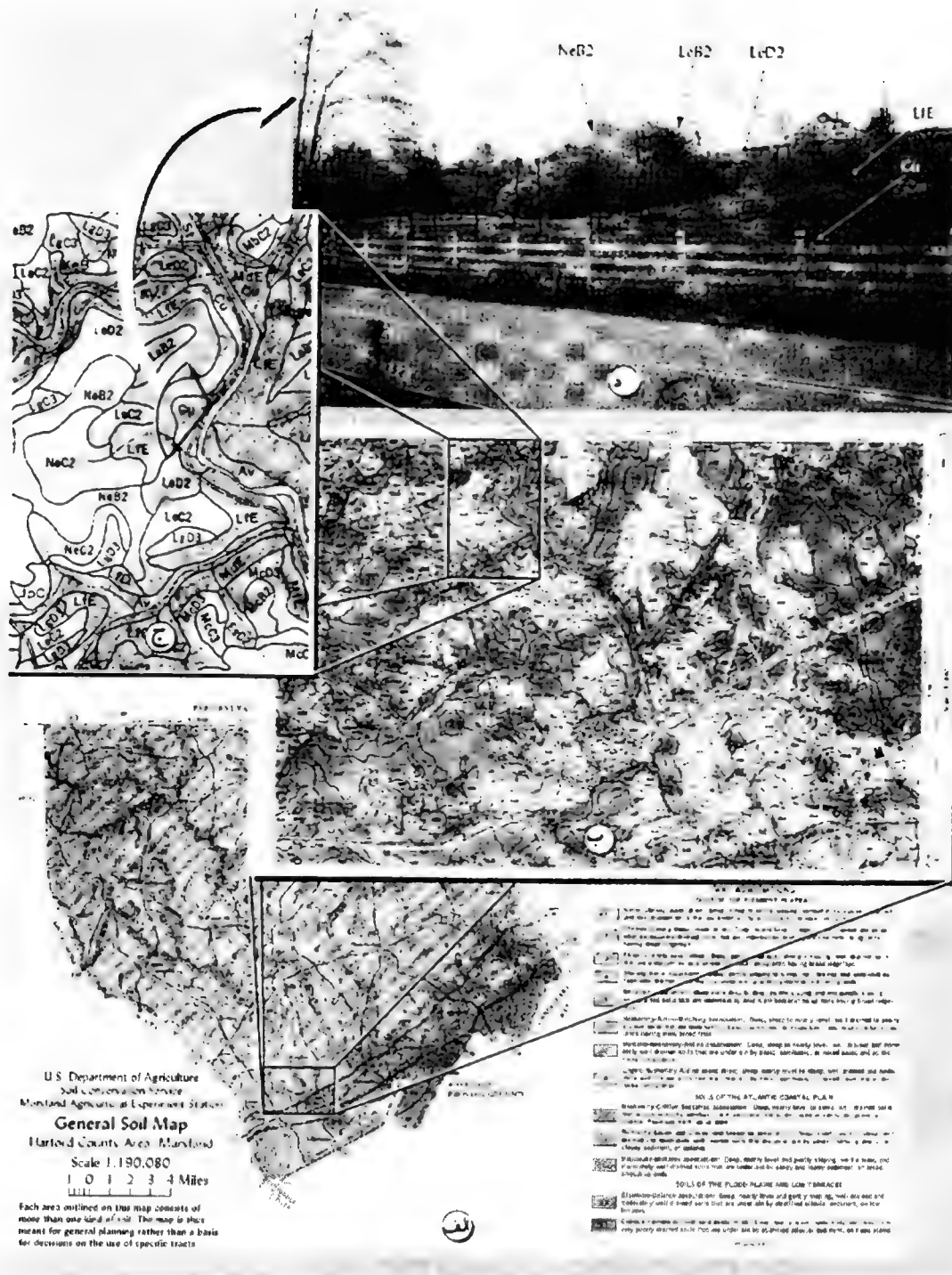
مثالی از نحوه‌ی استفاده: به‌عنوان مثالی از چگونگی استفاده از گزارش‌های شناسایی خاک، قطعه‌ای از زمین را که بروی عکس موجود در شکل ۱۴-۱۹ د نشان داده شده است، ملاحظه کنید. این اراضی همچنین در جفت عکس هوایی استریوسکوپیک که در شکل ۱۵-۱۹ نشان داده شده‌اند وجود دارند. شکل ۱۵-۱۹ را ترجیحاً با یک استریوسکوپ مطالعه کرده و پستی‌وبلندی مشاهده‌شده را با آن‌چه در عکس موجود در شکل ۱۴-۱۹ د مشخص است، مقایسه کنید. با تعیین موقعیت این منظره بروی نقشه تفصیلی (شکل ۱۴-۱۹ ج) ما می‌توانیم آن قطعه زمین را که دارای ۵ واحد نقشه با کدهای Cu ، LeB_2 ، LeD_2 ، LFe و NeB_2 (شکل ۵-۱۹) را برای توضیح این نظام رمز(کدگذاری مطالعه کنید) این کدها با ۵ واحد نقشه که در جدول ۴-۱۹ آمده‌اند مطابقت دارند در این جدول چند تفسیر ارایه شده در گزارش خاک‌شناسی نیز مشخص شده است. اگر شما برای طراحی یک بوستان در این محل برنامه‌ریزی می‌کنید، اطلاعات جدول ۴-۱۹ پیشنهاد می‌کنند که واحد نقشه‌ی لوم سیلنی کدروس^۴ Cu برای گردشگاه طبیعی مناسب است اما برای یک مرکز جهان‌گردی با امکانات بهداشتی مناسب نمی‌باشد.

¹ -Bureau of Land Management

² -Forest Service

³ -Land Grant Universities

⁴ -Codorus silt loam

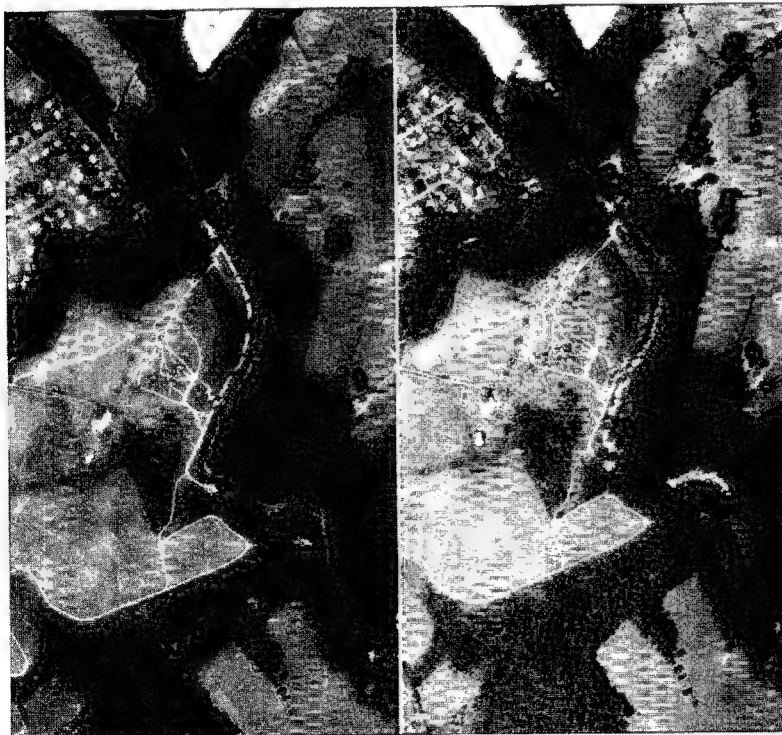


شکل ۱۹-۱۶ نقشه‌ی خاک بخش هارفورد در ایالت مریلند. یک نمونه از نقشه‌ی خاک در مطالعه نوین شناسایی خاک بخش. (الف) یک قسمت از نقشه‌ی خاک عمومی مقیاس کوچک (عمدتاً با مقیاس ۱:۱۹۰۰۸۰) که در این جا با مقیاس بسیار کوچک‌تری تکثیر شده است. (ب) نقشه خاک‌شناسی تفصیلی که شامل برگ‌های بسیاری از نقشه‌های مقیاس درشت (عمدتاً در مقیاس ۱:۱۵۸۰۰) می‌باشد، یکی از این نقشه‌ها (برگ شماره ۴۵) در این جا با مقیاس کوچک نشان داده شده است. (ج) یک منطقه‌ی مستطیلی با مساحت تقریبی ۱ کیلومتر مربع بر روی نقشه‌ی تفصیلی جدا شده و در مقیاس اصلی تکثیر شده است. بنابراین، واحد نقشه و چهره‌ها بر روی عکس هوایی مبنای نقشه، قابل مشاهده است. (د) منظره‌ای که جاده را در جلو عکس و خانه را بر روی تپه در عقب عکس نشان می‌دهد از موقعیتی که به وسیله‌ی ۲ پیکان در ج نشان داده شده است، عکس‌برداری شده است.

برای تجزیه و تحلیل برنامه‌ریزی جامع اراضی. مقادیر فوق‌العاده زیادی اطلاعات ذخیره‌شده در یک گزارش شناسایی خاک بخش احتمالاً می‌تواند با کمک نظام اطلاعات جغرافیایی رایانه‌ای (GIS) با بهترین وجه مورد استفاده قرار گیرد. حال به‌طور خلاصه تشریح می‌کنیم که یک GIS رایانه‌ای چگونه کار می‌کند.

جدول ۴-۱۹ نمونه‌ای از اطلاعات تفسیری که به‌وسیله‌ی گزارش شناسایی خاک بخش هاردفورد ایالت مریلند تهیه شده است، چهار واحد نقشه تشریح شده همان‌هایی هستند که در شکل ۱۴-۱۹ د نشان داده شده‌اند، تفسیرهای به‌عمل آمده شامل بعضی از تفسیرها نیز می‌باشد که برای توسعه‌ی محل به‌عنوان بوستان بخش موردنظر می‌باشد.

رمز واحد نقشه	نام واحد نقشه	طبقه‌بندی کلاس کاربری	محدودیت استفاده از خاک	تناسب برای حیات وحش فضای آزاد
Cu	لوم سیلتی Codorus	IIw-7	مناطق چادر زدن شدید (خطر سیل‌گیری) شلید (سطح آب زیرزمینی) متوسط (خطر سیل‌گیری) کم	خوب
LeB ₂	لوم سیلی Legore با ۳-۸ درصد شیب	IIe-10	کم	خوب
LeD ₂	لوم سیلی legore با ۱۵-۲۵ درصد شیب	IVe-10	شدید (شیب) شلید (شیب) متوسط (شیب)	مناسب
LfE	لوم سیلتی Legore خیلی سیلتی با شیب ۴۵-۲۵ درصد	VIIe-3	شدید (شیب) شلید (شیب) شدید (شیب)	ضعیف
NeD ₂	لوم سیلتی Neshaminy با ۳-۸ درصد فرسایش متوسط	IIe-4	کم متوسط (نفوذپذیری متوسط) کم	خوب



شکل ۱۵-۱۹ یک جفت استریوسکوپیک عکس هوایی شامل اراضی که در نقشه خاک در بخش ج در شکل ۱۴-۱۹ نشان داده شده است. چهره‌های اصلی که باید مورد توجه قرار گیرد عبارتست از سد مخزنی در قسمت بالا سمت چپ، توسعه ساختمان‌سازی در مقیاس کوچک در قسمت وسط سمت چپ، رودخانه (Winters Run) که در زیر مخزن جاری شده است. تپه و سیل‌دشت در مرکز عکس. چهره‌های آخری همان‌هایی هستند که در عکس زمینی ۱۴-۱۹ - د آمده‌اند

۹-۱۹ نظام اطلاعات جغرافیایی

اطلاعات جغرافیایی مجموعه‌ای از اقدامات سازمان‌یافته است که برای مدیریت اطلاعات، و یا داده‌ها، مورد استفاده قرار می‌گیرند که شامل برنامه جمع‌آوری اطلاعات، تجزیه و تحلیل اطلاعات و نهایتاً استفاده از آن‌ها برای ایجاد یک محصول، مانند یک گزارش و یا یک نقشه می‌باشد. در یک نظام اطلاعات جغرافیایی (GIS)، اطلاعات وابسته به موقعیت‌های مکانی است. برای مثال خصوصیات یک خاک‌رخ در ارتباط با محل مناسب یک واحد نقشه است. یک نظام GIS شامل ۵ مرحله زیر است:

۱- جمع‌آوری اطلاعات

۲- فراوری اولیه

۳- مدیریت داده‌ها

۴- کاربری اطلاعات و تجزیه و تحلیل آن‌ها

۵- تولید محصول

فرایند تهیه نقشه‌ی خاک، که در بخش ۵-۱۹ تشریح گردید، بخشی از مرحله جمع‌آوری اطلاعات است، جمع‌آوری نقشه‌های موجود خاک، گزارش‌ها و منطقه‌بندی نیز بخشی از همین مرحله است. این اطلاعات باید از قبل فراوری شده تا به شکلی درآیند که بتواند با سایر اطلاعات تلفیق گردند. جمع‌آوری اطلاعات و فراوری آن‌ها می‌تواند بسیار وقت‌گیر و پرهزینه باشد. یک نمونه از فراوری اولیه، یعنی رقوم کردن یک نقشه موجود خاک، وارد کردن تمام مرزهای خاک و سایر چهره‌های مکانی در پایگاه اطلاعات رایانه‌ای به صورت نقطه‌ها، خطوط و یا مناطق با تعریف هندسی که چندضلعی نامیده می‌شوند، می‌باشد. این فرایند می‌تواند با استفاده از یک اسکنر انجام گیرد اما اکثراً باید به وسیله‌ی دست با استفاده از یک رقوم‌کننده انجام شود. اطلاعات تشریحی نیز مانند آن‌چه در جدول ۴-۱۹ آمده است باید در پایگاه اطلاعاتی وارد شود. در حال حاضر فقط تعداد اندکی از مطالعات شناسایی خاک بخش به صورت رقوم موجود است اما با به‌روزشدن مطالعات شناسایی خاک بسیاری از آن‌ها نیز رقوم می‌شوند.

وقتی تمام اطلاعات لازم داخل پایگاه اطلاعاتی گردید، می‌تواند به وسیله‌ی برنامه‌های رایانه‌ای مدیریت گردیده و به وسیله‌ی کاربر مورد بررسی قرار گرفته تا شکل جدیدی از اطلاعات و حقایق ایجاد گشته و نهایتاً یک محصول مانند نقشه و یا گزارش تولید شود. تعدادی از برنامه‌های رایانه‌ای پیچیده برای انجام سه مرحله‌ی آخر نظام GIS در ارتباط باهم طراحی شده‌اند. شکل ۱۶-۱۹ یک مثال ساده از تولید چنین برنامه‌ای را نشان می‌دهد. نقشه در این شکل براساس اطلاعات اخذشده از برگ نقشه‌ی خاک است که در شکل ۱۴-۱۹ ب نشان داده شده است. اگرچه رقوم کردن و وارد کردن اطلاعات تشریحی و جغرافیایی تنها برای این برگ نقشه نیازمند بیشتر از ۱۰۰ ساعت بود اما تولید نقشه‌ی بعدی یعنی نقشه‌ی محدودیت چادرزدن فقط چند دقیقه طول کشید. نقشه در شکل ۱۶-۱۹ مجموعه‌ای بیشتر از ۹۰ واحد نقشه را با گروه‌بندی آن‌ها در سه دسته با توزیع مکانی خلاصه کرده است همین اطلاعات از قبل در جداول گزارش شناسایی خاک موجود بود، اما به شکل مکانی وجود نداشت.

نقشه‌ای که هم‌اکنون مورد اشاره قرار گرفت (شکل ۱۶-۱۹) تنها از یک لایه اطلاعات تشکیل شده است، یک نظام GIS می‌تواند برای تلفیق بسیاری از لایه‌های اطلاعات خاک از گزارش شناسایی خاک مورد استفاده قرار گیرد. به عنوان یک مثال فرضی از کاربرد GIS سناریوهای زیر را مورد نظر قرار دهید.

یک موسسه محلی در نظر دارد که جایی مناسب را برای بوستان عمومی از یکی از ۲۰ قطعات بزرگ اراضی مرزبندی شده در منطقه‌ای که به وسیله‌ی برگ شماره ۴۵ نقشه تفصیلی شناسایی خاک پوشش یافته است، پیدا کند (شکل ۱۴-۱۹ ب). برنامه‌ریزان تصمیم گرفته‌اند که زمین مناسب برای بوستان باید چهار خصوصیات زیر را در بر داشته باشد:

۱- محدودیت اندک در اراضی برای گردش دسته‌جمعی

۲- محدودیت اندک برای مسیرهای پیاده‌روی

۳- کلاس قابلیت اراضی بیشتر از II (برای جلوگیری از کاربری آن اراضی که باید برای تولید محصولات غذایی حفظ شوند)

۴- زیر کلاس ۲۰ درخت‌زارها بیانگر منطقه‌ای است که برای تولید جنگل سخت‌چوب دارای توان تولید بالا می‌باشد.

چند ضلعی مرز هر واحد نقشه در برگ شماره ۴۵ در داخل پایگاه اطلاعاتی GIS وارد شد و هر چندضلعی با اطلاعات مناسب تفسیری و تشریحی از گزارش شناسایی خاک همراه گردید.

برنامه‌ی رایانه‌ای GIS چندضلعی واحدهای نقشه که چهار میار فوق را دارا بودند، مورد جستجو قرار داد و یک نقشه با سایه روشن، فقط برای چندضلعی‌هایی که دارای خصوصیات مورد نظر بودند چاپ گردید. نهایتاً مرزهای ۲۰ قطعه زمین، و همچنین موقعیت رودخانه‌ها بر روی نقشه کشیده شد نقشه حاصل در شکل ۱۷-۱۹ نشان داده شده است. به نظر می‌رسد بالاترین قطعه زمین درست در سمت راست مرکز عکس که دارای بزرگ‌ترین سطح با خصوصیات مورد نظر برای ایجاد پارک پیشنهادی می‌باشد.



آب‌گداز: شادید متوسط محدودیت برای استفاده به عنوان اراضی چادر زدن

شکل ۱۶-۱۹ یک نقشه‌ی خاک تفسیری ساده از همان منطقه در شکل ۱۴-۱۹ ب (برگ نقشه‌ی ۴۵ هارفورد از ایالت مریلند). درجه‌بندی محدودیت‌ها از جدول گزارش شناسایی خاک همراه هر یک از هزاران چندضلعی بر روی برگ نقشه می‌باشد. مناطق با رنگ خاکستری تیره در کنار رودخانه‌های عمده در تناسب برای اراضی چادر زدن یا بسیار پرشیب و یا بسیار مرطوب می‌باشند و بنابراین، در دسته محدودیت‌های بسیار شدید قرار دارند. این نقشه فقط یک لایه اطلاعات است که شامل اطلاعاتی بر روی توزیع مکانی محدودیت‌ها (اراضی مناسب چادر زدن) می‌باشد. این نقشه راه‌ها، رودخانه‌ها و سایر داده‌ها را نشان نمی‌دهد (اراضی با مواد غیرخاکی خالی باقی مانده‌اند). این نقشه را با شکل ۱۴-۱۹ ب مقایسه کنند، توجه کنید که نظام اصلی رودخانه‌های فرعی به‌طور تقریبی از مرکز هر دو نقشه در طول قطر جریان دارند.

در بسیاری از برنامه‌ریزی‌های کاربری اراضی، خصوصیات خاک یکی از انواع مختلف اطلاعات جغرافیایی است که باید برای تأمین بهترین استفاده از یک محل، و یا پیدا کردن جایی که برای کاربری مورد نظر بهترین تناسب را دارد مورد تلفیق قرار گیرد. برنامه‌ریزی برای بهترین کاربری از مزارع مختلف، پیدا کردن محلی مناسب برای چاله‌ی دفع بهداشتی زباله و طراحی پناه‌گاه وحوش نمونه‌های از طرح‌هایی هستند که باید از اطلاعات جغرافیایی خاک‌ها و غیرخاک‌ها بهترین استفاده را به‌عمل آورند. ممکن است اطلاعات غیرخاک‌ها که باید مورد ملاحظه قرار گیرد شامل پستی و بلندی، رودخانه‌ها، پوشش گیاهی و کاربری فعلی باشد. نظام GIS می‌تواند برای ترکیب تمام این نوع اطلاعات، دادن بیشترین وزن به عواملی که برنامه‌ریز فکر می‌کند بسیار بحرانی می‌باشند، مورد استفاده قرار گیرد.

مثالی از یک مدل GIS در شکل ۱۸-۱۹ نشان داده شده است. در این جا هدف ابداع برنامه‌ای برای مبارزه با آتش‌سوزی در یک منطقه‌ی تفریحی می‌باشد. برای برآورد این که آتش‌ها به احتمال زیاد از کجا آغاز می‌شوند، کجا انواع مختلف ادوات و فناوری‌های مبارزه با آتش مناسب می‌باشد و کجا یک آتش‌سوزی سرکش بالاترین خسارت را به بار می‌آورد، تعدادی از عوامل باید موردنظر قرار گیرند. سرشت زمین اکثر این عوامل را تعیین می‌کند. تعدادی از نقشه‌ها، که توزیع مکانی عوامل خاکی و غیرخاکی را مشخص می‌کند برای تولید اولویت‌های مدیریت آتش بر روی هم قرار گرفتند. نقشه نهایی مناطق مختلف را داخل منطقه برحسب اولویت‌بندی آن‌ها در طرح مدیریت آتش از هم جدا نمود.

هرچه اطلاعات خاک در شکل رقمی بیشتر شود استفاده از آن در اخذ تصمیم‌گیری‌های برنامه‌ریزی اراضی براساس تجزیه و تحلیل GIS بدون شک به‌طور روزافزون، معمول خواهد شد. کیفیت این تصمیم‌گیری‌ها وابسته به کیفیت اطلاعات جغرافیایی خاک‌های تهیه‌شده به‌وسیله‌ی دانشمندان خاک، و کیفیت معیارهای تصمیم‌گیری ارایه‌شده به‌وسیله‌ی برنامه‌ریزان و همکاران، آن‌ها می‌باشد.



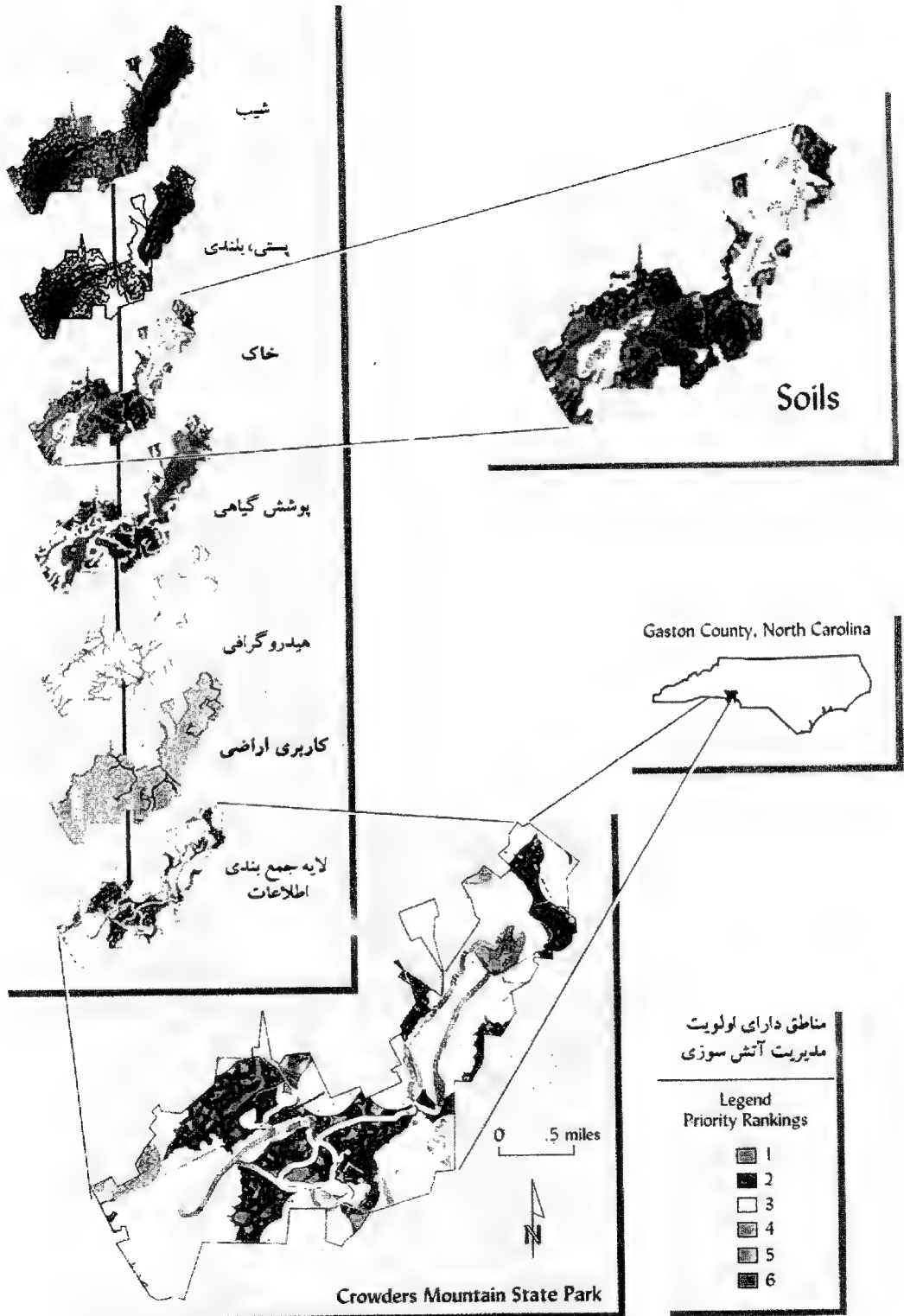
اراضی که معیارهای لازم را برای بوستان دارا می‌باشند:

- کلاس قابلیت بیشتر از ۲
- محدودیت کم برای اراضی گردشگاهی
- محدودیت کم برای مسیزهای پیاده روی
- زیر کلاس ۲۰ درختارها

0 6000 12000



شکل ۱۷-۱۹ نقشه‌ی قسمتی از بخش هارفورد در ایالت مریلند (برگ نقشه‌ی ۴۵) که با اراضی سایه‌خورده مشخص شده‌اند برای ایجاد بوستان‌های جدید با توجه به ۴ معیار مناسب می‌باشند. محدودیت‌های کلاس قابلیت اراضی $Lucc > 2$ از خارج کردن اراضی مرغوب از تولید زارعی اجتناب می‌کند (بخش ۱۳-۱۷ را مطالعه کنید). «تناسب برای ایجاد بوستان» خصوصیتی است که به‌وسیله‌ی GIS ایجاد شده است. علاوه بر تناسب برای ایجاد بوستان ۲ لایه دیگر اطلاعات جغرافیایی در این عکس نشان داده شده‌اند: ۱- رودخانه (خطوط منتهب کم‌رنگ) و ۲- مرزهای ۲۰ قطعه از اراضی فرضی (خطوط مستقیم پررنگ). کدام قطعه زمین باید به‌وسیله‌ی بخش‌داری برای تهیه یک پارک جدید باید خریداری شود؟



شکل ۱۸-۱۹ برای ارزیابی برنامه‌های مدیریت مقابله با آتش‌سوزی جنگل‌ها در بوستان ایالتی کوهستان کراودر در ایالت کارولینای شمالی اطلاعات مکانی درمورد خصوصیات خاک و سایر اطلاعات دارای توزیع مکانی با استفاده از برنامه‌های رایانه‌ای نظام اطلاعات جغرافیایی، که برای قراردادن لایه‌های مختلف انواع نقشه‌ها طراحی شده بود باهم ترکیب شدند. بدین‌صورت، اطلاعات خاک در نقشه‌ی نهایی به‌عنوان یکی از اجزای در تلفیق با اجزای متعدد دیگر قرار گرفت.

۱۰-۱۹ نتیجه‌گیری نهایی

انجام مطالعات شناسایی خاک هم علم است و هم هنر، که به‌وسیله‌ی آن‌ها بسیاری از دانشمندان خاک درک خود را از خاک‌ها و زمین‌ها در دنیای واقعی اعمال می‌کنند. تهیه‌ی نقشه‌ی خاک‌ها فقط یک حرفه نیست، بسیاری می‌گویند که یک روش زندگی کردن است. کارکردن به‌تنهایی در محیط باز در تمام انواع اراضی، و حمل تمام ابزارهای لازم به‌تنهایی. دانشمند شناسایی خاک حقایق زمین را جمع‌آوری می‌کند تا با اطلاعات حاصل از ماهواره و آزمایشگاه تلفیق گردند.

نقشه‌های خاک حاصل و اطلاعات تشریحی در گزارش‌های شناسایی خاک به راه‌های بی‌شماری به‌وسیله‌ی دانشمندان خاک و همین‌طور غیرمتخصصین مورد استفاده قرار می‌گیرند. مطالعات خاک‌شناسی همراه نظام‌های قدرتمند اطلاعات جغرافیایی برنامه‌ریزان را قادر می‌سازد که تصمیمات معقولی را در مورد این‌که چه چیزی کجا باید باشد، اتخاذ کنند. چالش برای دانشمندان خاک و شهروندان مورد نظر توسعه بصیرت و پایداری برای استفاده از فرایندهای برنامه‌ریزی GIS می‌باشد که سبب می‌گردد خاک‌های بسیار باارزش خود را حفظ کرده، و در تخریب و تبدیل آن‌ها به‌صورت فروشگاه‌های بسیار و چاله‌های دفع زباله شتاب نکنیم.

سوالات برای مطالعه

- ۱- کدام تفاوت اصلی در بین خاک مجموعه (Soil association) از یک طرف و توالی خاک (Soil catena) از طرف دیگر موجود است. تفاوت بین توالی سنگی (Lithosequence) و توالی پستی‌وبلندی (Toposequence) چه می‌باشد؟
- ۲- هدف اصلی از حفر خاک‌رخ در مطالعات شناسایی خاک چیست؟
- ۳- انواع اطلاعاتی را که ممکن است تهیه‌کننده نقشه خاک در انتخاب محل حفر چاله یا مته برای برداشت خاک‌های زیر سطحی جهت مطالعه مورد استفاده قرار دهد چیست؟
- ۴- GPS چگونه در یک نظام GIS مورد استفاده قرار می‌گیرد؟
- ۵- مزایای استفاده از عکس‌های هوایی، به‌عنوان نقشه پایه در مطالعات خاک‌شناسی چیست؟
- ۶- در منطقه‌ای که زندگی می‌کنید بعضی از اطلاعات را که انتظار دارید قادر باشید از تصاویر ماهواره‌ای به‌دست آورید، تشریح کنید.
- ۷- فرض کنید که شما دو نقشه دیواری دارید هر یک حدوداً دارای ۱ متر عرض و ۰/۷ متر بلندی باشد. یک نقشه مربوط به کانادا و دیگری نقشه مرتعی در کالیفرنیا باشد. کدام نقشه مقیاس درشت و کدام یک مقیاس کوچک است؟ اگر مرتع حدوداً از غرب تا شرق ۲۰ کیلومتر طول داشته باشد مقیاس تقریبی برای نقشه چه می‌باشد؟
- ۸- یک ترسیم‌کننده نقشه‌ی خاک یک مرز به دور منطقه‌ای که در آن ۶ مته به‌طور تصادفی زده است ترسیم می‌کند، ۲ عدد در خاک A با یک افق ارجلیک با ضخامت ۶۰ سانتی‌متر و رنگ قهوه‌ای تند و ۴ مته دیگر در خاک B با رنگ قهوه‌ای روشن‌تر و افق ارجلیک بین ۵۰ تا ۷۰ سانتی‌متر ضخامت، سایر خصوصیات خاک و ملاحظات مدیریتی برای دو نوع خاک مشابه است. آیا واحد نقشه ترسیم شده احتمالاً یک خاک مجموعه، خاک مجموعه همسان و یا کمپلکس باشد؟ توضیح دهید.
- ۹- فرض کنید شما برنامه‌ریزی نموده‌اید که ۴ هکتار زمین برای ایجاد یک باغ کوچک خریداری کنید، مرحله به مرحله توضیح دهید که از مطالعات شناسایی خاک بخش چگونه استفاده می‌برید، که مشخص کند محدوده‌ی مربوط، برای کاربری مورد نظر شما تناسب دارد.
- ۱۰- اگر شما به‌وسیله‌ی حکومت ایالتی استخدام شوید تا یک نقشه با مبنای GIS تولید کنید که نشان دهد کجا هزینه‌ها باید انجام شود که از توسعه‌ی حومه‌ی شهر در مزارع جلوگیری کند، می‌خواهید چه نوع لایه‌های اطلاعاتی در نظام GIS مورد استفاده قرار دهید.

اگر راه خود را تغییر ندهیم، همانجایی که در
نظر داریم، راه را به پایان خواهیم برد.
(ضربالمثل چینی)

فصل ۲۰

کیفیت خاک در جهان تحت تأثیر فعالیت‌های بشر

در طول چند دهه‌ی گذشته، به اهمیت جهانی اکثر کارهایی که انجام می‌دهیم، پی برده‌ایم. توسعه و یا رکورد اقتصادی یک کشور در اقتصاد تمام شرکای تجاری آن کشور در سرتاسر جهان تأثیرگذار است. شبکه‌ی ارتباطات جهانی دست‌یابی آسان رایانه‌ای را به اطلاعات باارزش و اخبار در هر گوشه جهان برای ما فراهم کرده است. در نتیجه، عمل هر کشور، هر مجموعه و یا هر فرد می‌تواند دارای اهمیت جهانی باشد. این تصویر جهانی در مورد خاک‌ها نیز صادق است. ذرات خاک که به وسیله‌ی باد در طول خاک‌ورزی بهار، در دشت‌های بزرگ آمریکا برداشت می‌شود، می‌توانند در باران‌ها در ایالت‌های شرق آمریکا و حتی اروپا ردیابی شوند. به همین ترتیب، نمک اضافی، نیترات‌ها و یا فسفات‌ها در زهاب خاک‌های یک کشور می‌تواند آب را برای استفاده کشور دیگر در پایین‌دست رودخانه نامناسب سازد. مطمئناً تغییرات در توان تولید خاک‌ها در یک منطقه دارای اثرات جدی برای انسان‌ها و سایر موجودات زنده در سایر جاهای جهان می‌باشد. امنیت غذایی و قیمت غذاها تحت تأثیر قرار می‌گیرند. اما تنوع زیستی، کیفیت آب و غذا و انرژی برای تمام موجودات تا حدی وابسته به توان تولید و کیفیت خاک‌ها می‌باشد. در فصول قبل، توجه خود را به فرایندهای شیمیایی، فیزیکی و زیستی که در خاک صورت می‌پذیرد معطوف داشتیم و بر روی مسایل خاص مناطق و فرصت‌هایی که بهره‌برداران با آن مواجه می‌باشند تأکید نمودیم. حال به کاربرد جهانی فعالیت‌هایی که تک‌تک بهره‌برداران در مدیریت خاک‌ها در مناطق مختلف در سرتاسر کره زمین انجام می‌دهند برمی‌گردیم. ما تشخیص خواهیم داد که چگونه فعالیت‌های انسانی بر روی موجودات خاکی تأثیر گذاشته، و آن‌ها نیز در کیفیت خود خاک اثر می‌گذارند. به عنوان چهارچوبی برای بحث خود حال توجه خود را به کیفیت و یا سلامت خاک‌ها که آن‌ها نیز به نوبه‌ی خود در سلامت انسان‌ها و سایر موجودات زنده اثر می‌گذارند، معطوف می‌کنیم.

۲۰-۱ مفهوم کیفیت خاک / سلامت خاک

از ابتدای زمان انسان خاک‌هایی را که بر روی آن کار، بازی و یا زندگی می‌کند، مورد ارزیابی قرار داده است. واژه‌هایی چون خاک‌های (خوب) و (بد)، (خاک‌های فرسایش‌یافته)، (پرتولید) و (کم‌تولید) همیشه مورد استفاده بوده‌اند. در سال‌های اخیر، دانشمندان و بهره‌برداران از خاک دریافته‌اند که بسیاری از خاک‌های جهان در حال تخریب بوده، و آن‌ها می‌خواهند که تخریب را بهتر درک کرده و آن‌را وارونه کنند. آن‌ها می‌خواهند یاد بگیرند که چگونه نه تنها کیفیت خاک‌های تخریب شده، بلکه کیفیت سایر خاک‌ها را نیز بهبود بخشند. آن‌ها همچنین می‌خواهند برای زارعین و برنامه‌ریزان منابع طبیعی وسایل ساده‌ای را برای مقایسه کیفیت خاک‌ها از یک محل با محل دیگر فراهم کنند. برای این که مقایسه حاضر را معنی‌دار کرده و پتانسیل یک خاک مشخص را بهتر درک کنیم، دانشمندان خاک مفهوم کیفیت و یا سلامت^۱ خاک را به کار می‌برند. مفهوم کیفیت خاک و معیارهای تعیین آن هنوز در حال تکامل می‌باشند، هرچند از قبل ثابت شده است که برای هشداردادن به دانشمندان، زارعین، متخصصین محیط زیست و مدیران برای مواظبت و رفع نیازهای یک خاک، حفظ کیفیت آن وسیله‌ی بسیار مناسبی می‌باشد.

^۱ - واژه‌های کیفیت (Soil Quality) و سلامت خاک (Soil health) اغلب در ادبیات علمی و جراید عمومی به جای همدیگر به کار می‌رود، سلامت خاک در بهترین وجه به شرایط خاک در نتیجه مدیریت آن دالالت دارد درحالی که کیفیت خاک ممکن است به هر دو مورد خصوصیات دایمی و شرایط خاک اشاره دارد.

کیفیت خاک در ارتباط با ظرفیت آن برای ایفای نقش نه تنها در محدوده‌ی خود، بلکه در محیط گسترده‌تری می‌باشد که خاک جزئی از آن است. این مفهوم بیانگر تناسب خاک (۱) به‌عنوان یک بستر برای ارتقای رشد نبات و حیوان (از جمله انسان‌ها) ضمن تنظیم جریان آب در محیط زیست می‌باشد، (۲) یک پشتیبان محیطی است که سبب هضم و تجزیه ترکیبات خطرناک زیست محیط می‌شود، (۳) عاملی در افزایش سلامت گیاهان و حیوانات از جمله انسان‌ها می‌باشد.

این سه مبحث گسترده به تعریف زیر می‌انجامد: کیفیت خاک عبارت از ظرفیت یک خاک برای ایفای نقش در قلمرو بوم‌سامان (بعضی مواقع در خارج آن) خود برای پایداری توان تولید، تنوع زیستی، حفظ کیفیت محیط زیست و ارتقای سلامت نبات و حیوان می‌باشد. رابطه‌ی بین تعریف کیفیت خاک و سلامت خاک، نقش آن و معیارهایی برای اندازه‌گیری آن در شکل ۱-۲۰ آمده است.

ارزیابی کیفیت خاک

ارزیابی کیفیت خاک به‌وسیله‌ی اهداف جوامع برای یک زمین نما (چشم‌انداز اراضی)، و یا بوم‌سامان و وظایفی که انتظار می‌رود خاک‌ها برای تحقق این اهداف ایفا کنند مشخص می‌شود. برای مشخص کردن توان یک خاک برای ایفای نقش، ما از مجموعه‌ای خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی استفاده می‌کنیم. که اکثراً آن‌ها در فصول قبل مورد ملاحظه قرار گرفته‌اند (جدول ۱-۲۰).

تحقیقات برای توسعه‌ی شاخص‌های کیفیت خاک جهت اندازه‌گیری توان خاک برای ایفای نقش به‌طور کمی در حال انجام است. این کار ساده نیست. زیرا کیفیت خاک به‌وسیله‌ی بسیاری از خصوصیات تحت تأثیر بوده، و تأثیر نسبی آن‌ها بر شاخص‌ها از یک نقش خاک تا نقش دیگر آن بسیار متفاوت است. برای مثال، میزان عناصر غذایی به‌عنوان عاملی برای ایفای نقش خاک در افزایش تولید دارای نرخ بالایی بوده، اما در ایفای نقش کیفیت خاک به‌عنوان پی ساختمان‌ها نسبتاً غیرمهم می‌باشد. این مسأله مطرح می‌کند که شاخص‌های کیفیت خاک باید برای استفاده مورد نظر نسبتاً اختصاصی باشند.

اهمیت نسبی عوامل مختلف، که در یک شاخص کیفیت مؤثرند در یک زمان با زمان دیگر، و از یک محل با محل دیگر در یک زمان، متفاوتند. این مسأله در جدول ۲-۲۰ که عناصر تولید غذا و پوشاک را در سال ۱۹۰۰ درمقایسه با عناصر غیرتولیدی برجسته‌تر (دارای وزن بیشتر) بوده‌اند تشریح شده است. اما در زمان ما به‌نظر می‌رسد عناصر مربوط به محیط زیست دارای اهمیت بیشتری باشند به‌خصوص در کشورهای صنعتی که در آن‌ها امنیت غذایی به‌طور معقولی تضمین شده است. نقش‌های گسترده‌تر زیست‌بوم خاک در سطح وسیع‌تری در حال مشخص شدن می‌باشند. در کشورهای در حال توسعه که گرسنگی و حتی قحطی همان‌طور که در جدول ۲-۲۰ مشاهده می‌کنید، هنوز معمول است، به تولید غذا و پوشاک از نظر کیفیت خاک وزن بیشتری داده شده است.

شاخص کیفیت خاک برای فرسایش‌پذیری : یک مثال

کیفیت خاک در ارتباط با فرسایش خاک می‌تواند از اطلاعات موجود در جدول ۳-۲۰ استخراج گردد. چهار نقش خاک در مقابله با فرسایش قابل تشریح است: (۱) امکان ورود آب، (۲) سهولت انتقال و نگهداری آب، (۳) مقاومت در مقابل تخریب، و (۴) پایداری رشد نبات. وزن نسبی هر کدام از نقش‌های خاک در مقابله با فرسایش مشخص شده است، ۵۰ درصد به‌خاطر امکان ورود آب، ۳۵ درصد مقاومت به تخریب خاکدانه، ۱۰ درصد انتقال و نگهداری آب و ۵ درصد برای پایداری رشد نبات فرض شده است. اندازه‌گیری‌های که می‌توانند به‌عنوان شاخص‌های این چهار نقش خاک عمل کنند، به‌صورت شاخص‌های همراه با وزن نسبی آن‌ها در جدول نشان داده شده است. به بسیاری از خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک که می‌توانند به ما کمک کنند تا توانایی خاک را در مقابله با فرسایش ارزیابی کنیم، توجه کنید.

اطلاعات تحلیلی برای شاخص‌های عمده همراه با وزن نسبی آن‌ها می‌توانند برای توسعه شاخص کلی کیفیت خاک در ارتباط با فرسایش مورد استفاده قرار گیرند. برای مثال، اجزای این شاخص در ارتباط با مقاومت به تخریب برای یک خاک در ایالت آیووا، که عملیات کشت پایدار پیگیری می‌شد، دارای نرخ ۸۴/۰ (از عدد ۱) بود. درمقایسه برای مزرعه‌ی مجاور، که در آن عملیات پرنهاده نسبی مورد استفاده بود این عدد ۰/۶ بود.

ما اکنون به سه نقش اساسی خاک‌ها، که در صورت رضایت‌بخش بودن کیفیت خاک باید ایفا کنند، برمی‌گردیم. توجه اولیه ما بر روی توان تولید زیستی معطوف خواهد بود. زیرا زندگی وابسته به آن است، گرچه دو نقش دیگر یعنی نگهداری کیفیت محیط زیست و ارتقای سلامت انسان و حیوان نیز مورد توجه قرار خواهند گرفت، به‌خصوص وقتی آن‌ها در تلاش‌های انسان‌ها برای حداکثر رساندن توان تولید زیستی تحت تأثیر قرار گیرند.



شکل ۱-۲۰ بیان تصویری تعاریف و نقش‌های کیفیت و یا سلامت خاک، همراه با مثال‌هایی از خصوصیات شاخص (خاک و دیگر عوامل) که می‌توانند برای اندازه‌گیری کیفیت و یا سلامت خاک به کار روند. تعریف کیفیت خاک با حروف درشت، نقش‌های بیشتر با حروف معمولی و گروه‌های شاخص خصوصیات که حامی هر نقش است در کلمات ریز آمده‌اند. برای سهولت، بسیاری از ارتباطات در داخل نقش‌های کیفیت خاک نشان داده نشده است (برای مثال حفظ کیفیت آب تاحدی وابسته به مقاومت درمقابل فرسایش و غیره می‌باشد). باکسب دانش بیشتر، احتمالاً شاخص‌های بیشتر و بسیار اختصاصی‌تر به این فهرست اضافه خواهند شد.

جدول ۱-۲۰ کمیته‌ی مجموعه‌ی اطلاعات ممکن برای شاخص‌های فیزیکی، شیمیایی، و زیستی در تعیین کیفیت و یا سلامت خاک سایر شاخص‌های حمایت‌کننده می‌توانند برای ارزیابی اندازه‌گیری‌ها مورد استفاده قرار گیرند. ممکن است مقادیر هر شاخص را در داخل یک شماره‌ی شاخص کیفیت خاک ادغام کرد، وزن داده‌شده به هر شاخص به وسیله‌ی نقش‌های خاص خاک مشخص خواهد شد.

شاخص	دلایل استفاده از آن
فیزیکی	
بافت	نگهداری و انتقال آب و مواد شیمیایی
عمق خاک و ریشه‌دوانی	برآورد پتانسیل توان تولید و فرسایش
نفوذپذیری و وزن مخصوص ظاهری	پتانسیل آبشویی یا توان تولید و فرسایش
ظرفیت نگهداری آب	در ارتباط با نگهداری، انتقال آب و فرسایش‌پذیری
شیمیایی	
کل ماده‌ی آلی خاک	ذخیره کربن، توان حاصلخیزی و پایداری
ماده‌ی آلی فعال	پایداری ساختمانی و غذایی میکروب‌ها
اسیدیته	آستانه‌ی فعالیت‌های زیستی و شیمیایی
هدایت الکتریکی	آستانه‌ی فعالیت‌های گیاهان و میکروب‌ها
نیترژن، فسفر و پتاس قابل استخراج	عناصر غذایی قابل استفاده نبات و توان برای هدررفت P و N
زیستی	
C و N زیتوده میکروبی	پتانسیل واکنش‌یاری میکروب‌ها و هشدار اولیه برای ایجاد تغییرات در ماده‌ی آلی
N دارای پتانسیل معدنی شدن	توان تولید خاک و توان عرضه‌ی N
تنفس مخصوص	فعالیت میکروبی در واحد زیتوده‌ی میکروبی
تعداد جانوران بزرگ	توان تأثیر جاندارانی مانند کرم خاکی

جدول ۲-۲۰ اهمیت اعطاشده به وظایف مختلف خاک برای مشخص کردن کیفیت خاک در زمان‌ها و شرایط مختلف. به وزن بسیار بالا برای نقش تولید غذا و پوشاک در سال ۱۹۰۰ در مقیاس جهانی، و در کشورهای درحال توسعه درحال حاضر توجه کنید. سایر نقش‌ها در ارتباط با مباحث محیط زیست و سکونت‌گاه‌ها در کشورهای صنعتی امروزه بسیار برجسته می‌باشند

نقش خاک	وزن احتمالی		
	جهانی ۱۹۰۰	کشورهای صنعتی ۲۰۰۰	کشورهای درحال توسعه ۲۰۰۰
۱- تولید غذا و پوشاک	۸۵	۴۰	۷۰
۲- مقاومت به فرسایش	۳	۱۵	۱۰
۳- کیفیت آب و هوا	۱	۱۰	۵
۴- کیفیت غذا	۵	۱۰	۵
۵- زیستگاه‌های وحوش	۱	۱۵	۵
۶- پی ساختمان و جاده	۵	۱۰	۵

جدول ۳-۲۰ چهار نقش احتمالی کیفیت خاک و وزن نسبی آن‌ها در تعیین مقاومت به فرسایش خاک، همراه با شاخص‌های قابل اندازه‌گیری برای هر نقش و وزن آن‌ها

توجه کنید به استثنای بافت خاک، اکثر شاخص‌ها خصوصیات هستند که می‌توانند به‌طور قابل ملاحظه‌ای تحت عملیات مدیریت خاک تحت تأثیر باشند. توجه کنید امکان ورود آب، که با نفوذپذیری قابل اندازه‌گیری است به‌نظر می‌رسد ۵۰ درصد این نقش را داشته باشد. در مقابل تخریب، که اساساً به وسیله‌ی پایداری خاکدانه‌ها اندازه‌گیری می‌شود، دارای اهمیت دوم می‌باشد. توجه کنید که اکثر شاخص‌های قابل اندازه‌گیری در فصول قبل مورد توجه قرار گرفته‌اند.

نقش کیفیت خاک	وزن نقش	شاخص اندازه‌گیری	وزن شاخص
۱ امکان ورود آب	۵۰	میزان نفوذ	۵۰
۲ مقاومت در برابر تخریب	۳۵	پایداری خاکدانه‌ها	۲۷
		مقاومت برشی خاک	۴
		بافت خاک	۲
		ظرفیت انتقال حرارتی	۲
۳ سهولت انتقال آب و نگهداری آن	۱۰	ضریب آبگذاری	۵
		تخلخل	۲
		منافذ درشت	۳
۴ رشد پایدار نبات	۵	عمق ریشه‌دوانی	۱
		روابط آب	۲
		روابط تغذیه‌ای	۱
		موانع شیمیایی	۱

۲-۲۰ پایداری توان تولید زیستی

هیچ‌یک از نقش‌های خاک بیشتر از پایداری توان تولید زیستی در زندگی تمام موجودات زنده تأثیرگذار نیست. بقای انسان در طول قرون وابسته به این نقش بوده است، و به نظر می‌رسد که همچنان تداوم داشته باشد. بر همین منوال، بقای تعداد موجودات بی‌شمار خاک وابسته به ظرفیت خاک برای حفظ توان تولید زیستی است. حال توجه خود را به تأمین نیازهای بشر به غذا و پوشاک معطوف می‌داریم. زیرا بقای سایر موجودات اغلب وابسته به چگونگی تأمین این نیازهای انسان است. ما مسایل تولید غذای جهانی را مورد بررسی قرار می‌دهیم. چگونه از عهده این مسأله برآمده‌ایم و چگونه کیفیت خاک از اقدامات ما بهره برده و یا زیان دیده است.

نخستین ده هزار سال

از طلوع کشاورزی یعنی از حدود ۱۰ هزار سال قبل، مردم جنگل‌ها و علف‌زارها را برای استفاده از زمین در کشت محصولات غذایی و پوشاک برای خانواده در حال رشد خود از بین برده‌اند. در ابتدا، به دلیل این‌که اراضی فراوانی وجود داشت و شمار مردم نسبتاً اندک بود، تغییر از پوشش گیاهی طبیعی بیشتر پایدار به نظام‌های کشاورزی کمتر پایدار فقط اثرات محلی بر کیفیت خاک داشت.

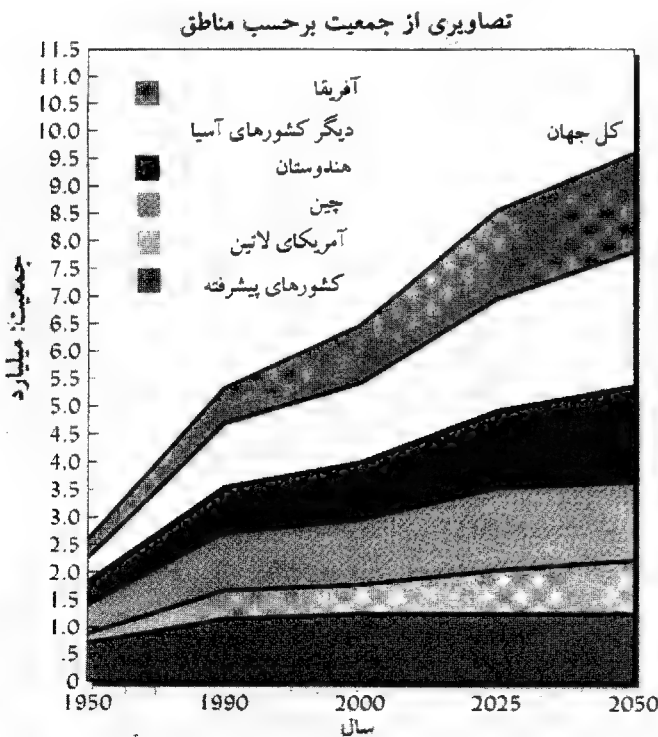
با افزایش تعداد جمعیت، توان تولید خاک در مناطق وسیعی دچار تزلزل شد. نمونه‌ها شامل شوری شدن اراضی بسیار پرتولید آبی بین‌النهرین در خاورمیانه (بخش ۳-۱۰ را مشاهده کنید) و فرسایش شدید آبی اراضی تپه‌ماهوری بود که یونانی‌ها و رومی‌ها برای تولید غذا وابسته به آن بودند (شکل ۲۱-۱۷). این مردم به اراضی کم‌آزدحام در آفریقای شمالی و اروپا برای تولید غذا روی آوردند. در نتیجه، تخریب کیفیت خاک در این روزگاران اولیه فقط دارای اثرات جهانی متوسط بود.

با افزایش جمعیت بشر، توان تولید خاک‌های تحت کشت و زرع دچار تزلزل گردید. غذای اضافی برای جمعیت در حال ازدیاد عمدتاً با گسترش اراضی زیر کشت، اما نه با افزایش عملکرد به دست آمد. این امر مخصوصاً بعد از کشف نیمکره‌ی غربی به وسیله‌ی اروپاییان حقیقت داشت. که خاک‌های بکر آنها به زودی مواد غذایی را نه تنها برای ساکنان محلی بلکه برای صادرات به دیگر بخش‌های دارای کمبود غذا نیز فراهم نمود. نیم قرن گذشته

تنها در نیم قرن گذشته فشار بر اراضی برای تولید غذا چنین شدید شده و سبب گردیده است که مردم جانشین‌هایی را به جای اراضی کشاورزی در تأمین نیازهای بشری از نظر غذا و پوشاک^۱ مورد ملاحظه قرار دهند. این تغییرات هم ناشی از افزایش غیرقابل انتظار تعداد جمعیتی است که باید تغذیه شوند، و هم ارتقا توان مردم برای خرید غذا و پوشاکی است که دیگران تولید می‌کنند. اول با انفجار جمعیت آغاز می‌کنیم.

۳-۲۰ انفجار جمعیت

معجزات نوین پزشکی به دنبال جنگ جهانی دوم سبب افزایش ناهمگون جمعیت و تقاضا برای مواد غذایی گردید (شکل ۲-۲۰). این تقاضا به وسیله‌ی زارعین، که در نیم قرن گذشته بیشتر از ۱۰۰۰۰ سال تاریخ کشاورزی غذا تولید کرده‌اند، برآورده شده است. برای دستیابی به این هدف لازم بود که (۱) جنگل‌های بومی و علفزارهای دارای کمبود رطوبت، که اکثر آنها برای کشت و کار مناسب نیستند به زیر کشت برده شوند و یا (۲) افزایش تراکم کشت و عملکرد در هکتار در اراضی حاصلخیز که قبلاً زیر کشت بودند انجام گردد. هر دو منبع ارتقای تولید مورد استفاده قرار گرفتند، اما اکثر غذای مورد نیاز از تولید بیشتر در اراضی زراعی موجود به دست آمد (جدول ۴-۲۰). همان‌طور که خواهیم دید، هر دو این راه‌کاری‌های افزایش تولید مواد غذایی پیامدهای ناگواری برای کیفیت خاک‌های جهان داشته است.



شکل ۲-۲۰ از آغاز زندگانی نسل بشر تا سال ۱۹۶۰، جمعیت جهانی به حدود ۳ بیلیون نفر افزایش یافت، حدود ۴۰ سال دیگر نیاز بود که این جمعیت به ۶ بیلیون برسد. در سال ۲۰۲۵ انتظار می‌رود که جمعیت در کل به ۸/۵ میلیارد نفر برسد. توجه کنید که تمام رشد اساساً در کشورهای در حال توسعه و مناطقی است که برای تأمین غذای جمعیت در حال رشد خود اکنون در فشار می‌باشند.

^۱ نیازهای بشر برای مواد رشته‌ای که برای ساخت پارچه، کاغذ، تخته، ریسمان، پوشش و غیره به کار می‌روند با تعداد جمعیت انسانی نیز افزایش یافت. نباتاتی مانند پنبه، کف و درختان برای کمک به برآورد این نیازها مورد استفاده می‌باشند در حالی که توجه عمده‌ی ما بر توسعه‌ی نیازهای غذایی است، تقاضا برای مواد رشته‌ای نیز با افزایش جمعیت بشری افزایش می‌یابد.

جدول ۴-۲۰ درصد افزایش تولید مواد خوراکی در بین سال‌های ۱۹۶۳-۱۹۶۱، ۱۹۹۰-۱۹۹۸ در ارتباط با سطح اراضی تحت کشت و افزایش عملکرد در هکتار.

منطقه	افزایش عملکرد در ارتباط با	
	درصد افزایش سطح منطقه	درصد افزایش عملکرد (الف)
کشورهای کم‌درآمد		
آفریقای جنوب صحرا	۴۷	۵۲
امریکای لاتین	۳۰	۷۱
خاورمیانه و شمال آفریقا	۲۳	۷۷
جنوب آسیا	۱۴	۸۶
شرق آسیا	۶	۹۴
کشورهای پردرآمد	۲	۹۸
جهان	۸	۹۲

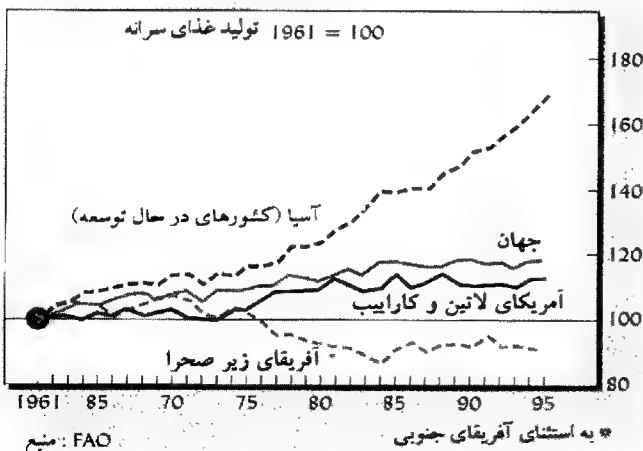
(الف) هم شامل افزایش تعداد محصولات در سال و هم افزایش عملکرد در هکتار می‌باشد.

۴-۲۰ کشاورزی پرنهاده- انقلاب سبز

هنگامی که انفجار جمعیت به دنبال جنگ جهانی دوم آشکار گشت، بسیاری از دانشمندان فقر گسترده‌ای را پیش‌بینی کردند. برآورد آن‌ها اساساً بر این فرض بود که همانند سابق، توسعه‌ی اراضی تحت کشت و کار اولین وسیله برای افزایش تولید مواد غذایی است. آن‌ها امکانات افزایش تولیدات را در آن اراضی که قبلاً زیر کشت بودند فراموش کرده و دچار اشتباه بودند.

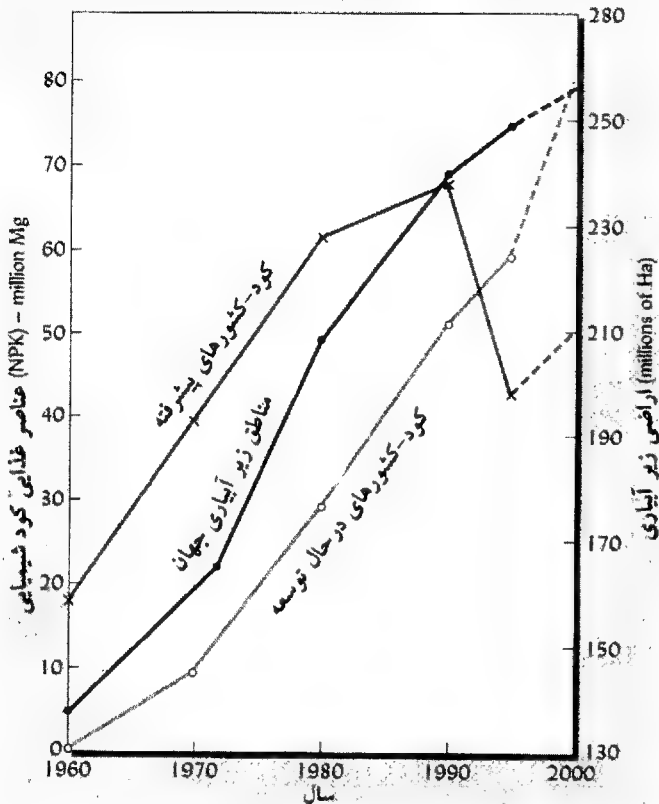
دانشمندان و زارعین همکار با آن‌ها نظام‌های مدیریت پرنهاده‌ی آب و خاک را که سبب افزایش غیرهمسان تولید مواد غذایی در کشورهای درحال توسعه، به‌خصوص آسیا و آمریکای لاتین شده بود، توسعه داده و مورد استفاده قرار دادند. تولید مواد غذایی بسیار سریع‌تر از میزان جمعیت در اکثر مناطق عمده، به‌استثنای آفریقای جنوب صحرا (شکل ۲-۲۰) افزایش یافت. برداشت غلات از سال ۱۹۵۰ تا ۱۹۹۰ تقریباً سه برابر شد در نتیجه ترس از فقر شدید برطرف گردید و قیمت مواد غذایی (عمدتاً غلات) در واقع کاهش یافت. قیمت‌های پایین مواد غذایی در هر جا برای مردم در شهرها، و همین‌طور مناطق روستایی مفید واقع شد.

افزایش گسترده‌ی تولیدات در نتیجه نظام‌های مدیریت مزرعه بود که از تلفیق ارقام پرمحصول جدید غلات با آب قابل استفاده بیشتر از طریق آبیاری و افزایش شدید میزان عناصر غذایی حاصل از کودهای شیمیایی به‌دست آمد (شکل ۴-۲۰). نظام‌های تک‌کشتی به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفت و سالانه ۲ و یا سه نوع محصول برداشت گردید.



شکل ۳-۲۰ تغییرات مقدار مواد غذایی سرانه در مناطق مختلف جهان بین سال‌های ۹۵-۶۱ مقدار تولید در هر فرد به‌طور جهانی حدوداً ۲۰٪ افزایش یافت. اما در کشورهای درحال توسعه آسیا افزایش حدود ۷۰ درصد بود. تنها در آفریقای جنوب صحرا (به‌استثنای آفریقای جنوبی) میزان تولید سرانه کاهش یافت. اکثر افزایش عملکرد در نتیجه کشاورزی پرنهاده بود.

بیشتر از ۷۰ درصد افزایش حاصل از نظام‌های کشت‌وکار پرنهاده و بقیه آن‌ها از افزایش اراضی تحت کشت‌وکار به‌دست آمده است. نتایج در آسیا و آمریکای لاتین بسیار برجسته بود، که در آن‌جا واژه انقلاب سبز برای تشریح فرایند به‌کار گرفته شده است. برای مثال، عملکرد گندم در هندوستان از اول سال ۱۹۶۶ چهارصد درصد رشد کرد. عملکرد برنج در اندونزی و چین بیشتر از دو برابر گردیده است. میزان مصرف انرژی به حدود ۲۷۰۰ کیلوکالری رسید که حدوداً ۱۶ درصد بالاتر از حداقل نیازها است. گرچه میلیون‌ها نفر هنوز گرسنه باقی مانده‌اند، تغذیه انسانی نیز در بین مردم فقیر افزایش بسیار یافت، زیرا قیمت واقعی این غلات به ۷۵٪ کاهش پذیرفت و برای شهروندهای کم‌درآمدتر بسیار قابل‌دسترس گشت.



شکل ۴-۲۰ افزایش مصرف کود در کشورهای صنعتی و کشورهای در حال رشد و در مناطق تحت آبیاری جهان از سال ۱۹۶۰. به افزایش ۲۵ برابری مصرف کود در کشورهای در حال توسعه و به دو برابر شدن مساحت اراضی تحت آبیاری در جهان توجه کنید. کاهش مصرف کود در کشورهای صنعتی عمدتاً از سال ۱۹۹۰ مربوط به کاهش مصرف در کشورهای سابق اتحاد جماهیر شوروی است، هرچند مصرف در آمریکا و اروپا بدون تغییر باقی مانده است.

۲۰-۵ اثرات کشاورزی پرنهاده بر کیفیت و یا سلامت خاک

مطالعات اندکی در مورد اثر تولید پرنهاده بر کیفیت خاک به‌طور کمی انجام شده است، اما شواهد غیرمستقیم حاکی از وجود اثرات هم مثبت و هم منفی می‌باشند.

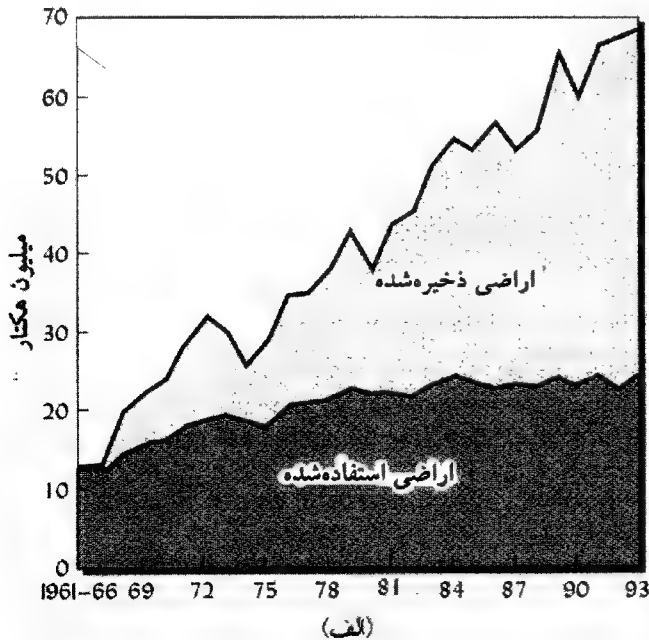
اثرات مثبت

بخش کشاورزی پرنهاده معمولاً سبب حفظ و یا حتی افزایش سطح بعضی از عناصر پرمصرف در خاک شده است. زیرا این عناصر معمولاً از منابع خارجی مانند کود دامی، آهک و کودهای شیمیایی تأمین می‌شوند. وقتی کاربرد مناسب و متعادل کودهای شیمیایی اعمال شده است، مقدار اجزاء K, P, N کیفیت خاک ارتقاء یافته است.

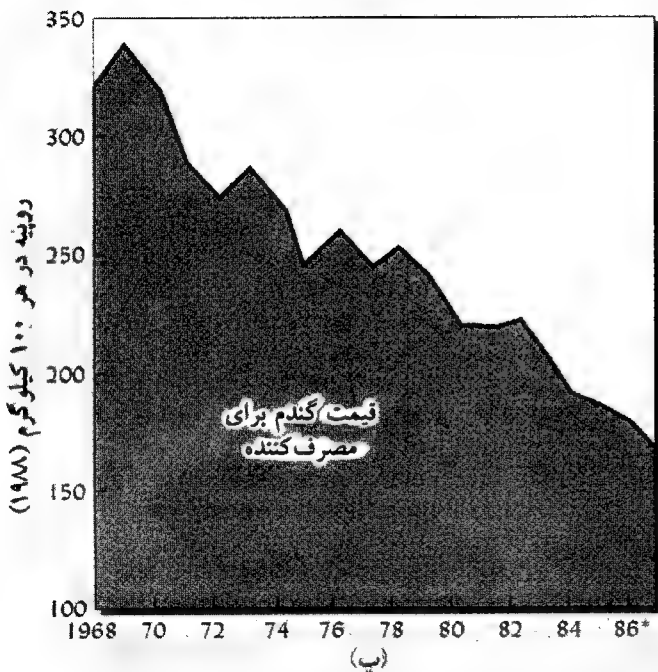
کشاورزی پرنهاده همچنین سبب بالا رفتن تولید محصول و امکان افزایش پس‌مانده‌های گیاهان مربوط به آن گردید، که می‌توانند به خاک برگشت داده شده سبب ایجاد خاک‌پوش، کاهش فرسایش خاک و حفظ و یا افزایش مقدار ماده‌ی آلی خاک (جدول ۵-۲۰) شوند. بنابراین، کیفیت خاک در صورت برگشت بخش اعظم پسمانده‌های گیاهی به خاک به‌طور مثبت تحت تأثیر قرار می‌گیرد.

سومین و احتمالاً اثر مهم‌تر پرنهاده‌کردن کشاورزی تمایل به کاهش فشار بر اراضی آسیب‌پذیر است که در غیراین صورت ممکن بود به‌خاطر تولید غذای مورد نیاز، بیشتر آن‌ها از پوشش عاری و به زیر کشت‌وکار برده شوند. کشاورزی عمدتاً در خاک‌ها با توان تولید بالاتر و نسبتاً سطح،

پرنهاده شده است، در آنجا خطر فرسایش زیاد نیست. با تولید اکثر غذای اضافی در این خاک‌ها نیاز به توسعه کشاورزی در اراضی آسیب‌پذیرتر کاهش یافته است. شکل ۵-۲۰ این نکته را در مورد هندوستان تشریح می‌کند که در صورت عدم افزایش عملکرد حاصل از انقلاب سبز، این کشور مجبور بود که ۴۲ میلیون هکتار یعنی مساحتی معادل پهنه‌ی کالیفرنیا را عمدتاً از جنگل‌ها به زیر کشت برد. در مقیاس جهانی، بیشتر از ۶۰۰ میلیون هکتار مساوی سطح اراضی حوزه‌ی آمازون به‌خاطر افزایش عملکرد محصول غلات ذخیره شده است. تقریباً مشخص است که کیفیت خاک‌ها در اراضی جنگلی و علفزار، در مناطقی که کشاورزی پرنهاده در اراضی مسطح اعمال نشده و این اراضی به زیر کشت برده شده‌اند، به‌طور قابل توجهی کاهش یافته است.



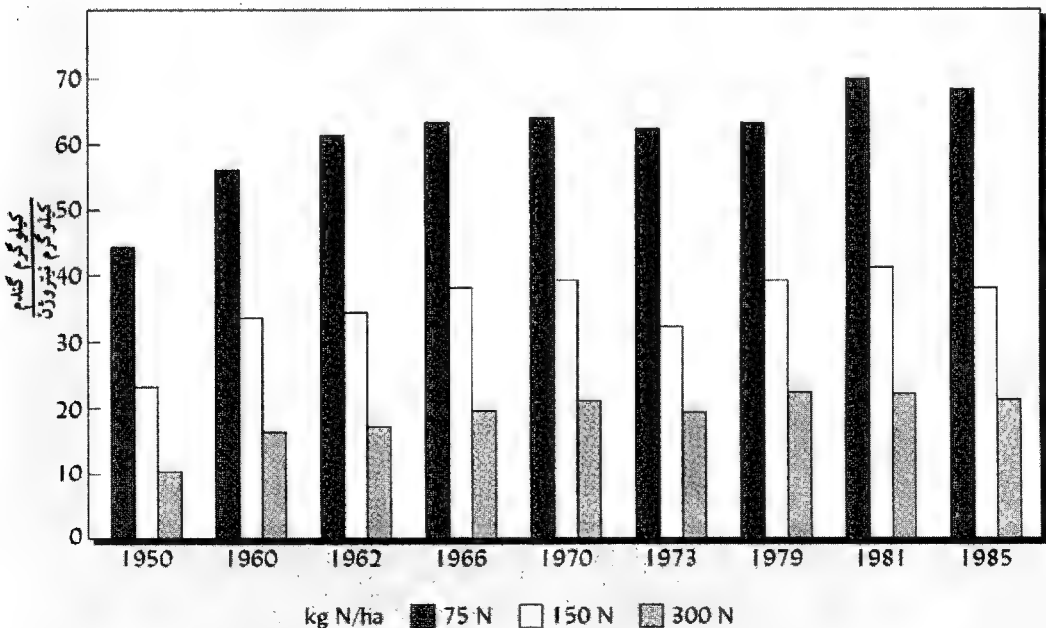
شکل ۵-۲۰ (الف) اگر قرار بود هندوستان میزان تولید گندم امروزی را با فناوری ابتدای دهه ۶۰ داشته باشد می‌بایست ۴۰ میلیون هکتار از اراضی کشاورزی بیشتر از امروز به زیر کشت می‌برد. اکثر این اراضی کشاورزی می‌بایست از اراضی جنگلی فرسایش‌پذیر با شیب‌های تند به‌دست می‌آمد (ب) تولید پرنهاده‌ی افزایش یافته همزمان سبب کاهش قیمت برای مصرف‌کننده (اکثر مردم فقیر) گندم می‌باشد.



جدول ۲۰-۵ اثر ۳۰ سال کشت مداوم برنج (۳ محصول در سال) با مصرف کود نیتروژنی و بدون مصرف آن، بر روی میزان ماده‌ی آلی و نیتروژن کل در یک خاک در فیلیپین. به مقادیر بالای نیتروژن آلی و کربن در خاک با مصرف سنگین نیتروژن (۳۳۰ کیلوگرم در هکتار در سال) توجه کنید. فسفر و پتاسیم در تمام کرت‌ها مصرف شدند.

میزان نیتروژن کل در خاک g.kg^{-1}		میزان کل کربن آلی خاک g.kg^{-1}		
بدون مصرف نیتروژن	با مصرف ۳۳۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در سال	بدون مصرف نیتروژن	با مصرف ۳۳۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در سال	سال
۱/۹۴	۱/۹۴	۱۸/۳	۱۸/۳	۱۹۶۳
۲/۲۲	۱/۹۷	۲۱/۴	۱۸/۸	۱۹۷۸
۲/۱۴	۱/۹۵	۲۱/۴	۱۸/۷	۱۹۸۳
۲/۳۸	۲/۰۷	۲۳/۹	۲۰/۴	۱۹۸۵
۲/۲۷	۱/۹۷	۲۳/۵	۲۰/۴	۱۹۹۱
۲/۳	۲/۰۹	۲۳/۰	۲۰/۷	۱۹۹۲

جنبه احتمالی دیگر انقلاب سبز افزایش بازدهی مصرف عناصر غذایی در بعضی از ارقام اصلاح شده غلات (شکل ۶-۲۰) است. برای نمونه وقتی ۷۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به ارقام گندم سستی در سال ۱۹۵۰ داده می‌شد. فقط ۴۵ کیلوگرم از هر کیلوگرم نیتروژن مصرف‌شده به‌دست می‌آمد. ارقام اصلاح شده سال‌های میانی دهه‌ی ۸۰ به ازای مصرف هر کیلوگرم نیتروژن ۷۰ کیلوگرم گندم تولید می‌کردند. به بازدهی کمتر تمام ارقام در صورت مصرف مقادیر زیاد عناصر توجه کنید.

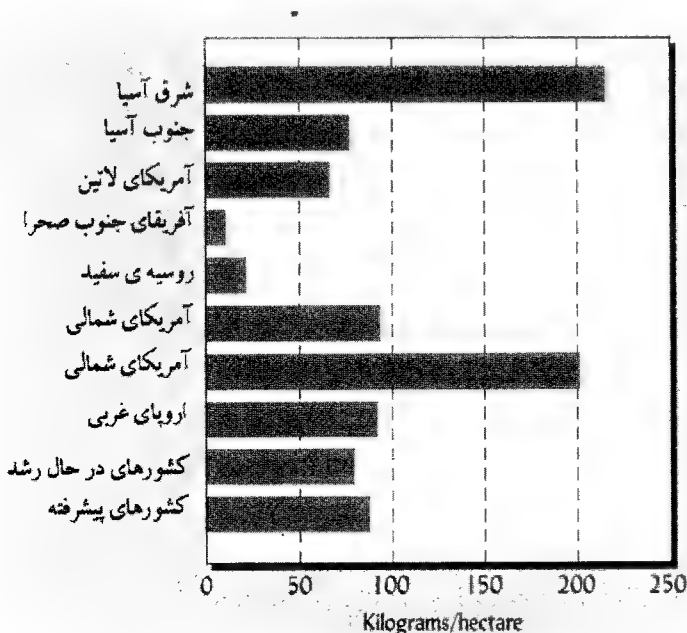


شکل ۶-۲۰ کارایی استفاده از نیتروژن در ارقام بومی گندم در سال ۱۹۵۰ در مقایسه با ارقام اصلاح شده که هنوز در کشاورزی پرنهاده در کشورهای درحال توسعه مورد استفاده می‌باشند. در تمام مقادیر مصرف نیتروژن، ارقام اصلاح شده دارای کارایی بیشتری از ارقام سستی سال ۱۹۵۰ هستند. توجه کنید که بازده استفاده از نیتروژن در مقادیر بالای مصرف (۱۵۰ تا ۳۰۰ کیلوگرم) بسیار کمتر از مقادیر مصرف متوسط ۷۵ کیلوگرم در هکتار می‌باشد.

اثرات منفی

کشاورزی پرنهاده همچنین دارای اثرات منفی بر کیفیت بعضی از خاک‌ها می‌باشد. مصرف کودهای شیمیایی سبب عرضه‌ی مقدار فراوان نیتروژن، فسفر و در بعضی موارد پتاسیم^۱ می‌شود. هرچند، برداشت سایر عناصر غذایی در محصولات با عملکرد بالا اغلب سبب کمبود عناصر کم‌مصرف می‌گردد. همچنین اکسایش نیتروژن موجود در کودهای شیمیایی سبب کاهش اسیدیته خاک می‌شود. هر دو اثر سبب پایین آمدن کیفیت خاک می‌شوند.

عناصر غذایی زیادی : در بسیاری از مناطق جهان مانند آسیای شرقی و اروپای غربی (شکل ۷-۲۰) عناصر غذایی مانند نیتروژن و فسفر بسیار بیشتر از جذب نبات استعمال می‌شود. طی زمان مقادیر این عناصر غذایی در خاک افزایش پیدا کرده و به‌صورت مواد آلاینده به داخل رواناب، زهاب و نیوار وارد می‌شوند. اعتقاد براین است کیفیت خاک به‌خاطر تأثیر مواد خارج‌شده از خاک در محیط زیست کاهش می‌یابد.



شکل ۷-۲۰ مقادیر مصرف کودهای شیمیایی در مناطق انتخاب‌شده‌ی جهان در سال ۱۹۹۵. به مصرف مقادیر بسیار بالا در شرق آسیا که در آنجا چندکشتی معمول است و در غرب اروپا که کشاورزی پرنهاده دایر است توجه کنید. در هر دو جا، مناطقی با مصرف بیش از حد مشخص شده است. همچنین به مقادیر بسیار پایین در مناطق آفریقای جنوب صحرا و روسیه ی سفید (ایالت‌های تازه استقلال یافته اتحاد جماهیر شوروی سابق) که تولید محصول به‌خاطر کمبود عناصر غذایی محدود شده است، توجه کنید. مصرف کود شیمیایی در آمریکا در حد متوسط جهانی است. درحالی‌که نظام‌هایی با مصرف زیاد در مناطق تحت آبیاری و مناطق نیمه‌مرطوب وجود دارند، با مصرف بسیار اندک در مناطق وسیع دیم که در آنجا به‌جای کمبود عناصر غذایی آب اولین عامل محدودکننده‌ی تولید است، مصرف کود متعادل می‌شود.

شورشدن: شورشدن حاصل از آبیاری اثر منفی دیگر کشاورزی پرنهاده بر کیفیت خاک است. برای نمونه میزان افزایش نمک به خاک‌های تحت آبیاری ایالت آریزونا معادل ۳۵۰ کیلوگرم برای هر نفر از جمعیت ۴ میلیونی این ایالت می‌باشد. در مقیاس جهانی حدود ۳۰ درصد اراضی تحت آبیاری به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر شورشدن (به لغت‌نامه انتهایی مراجعه کنید) می‌باشند، در بعضی موارد شورشدن چنان شدید است که اراضی متروکه شده‌اند.

آفت‌کش‌ها : آفت‌کش‌های شیمیایی، که معمولاً در نظام‌های کشاورزی پرنهاده مصرف می‌شوند، می‌توانند به‌طور منفی در کیفیت خاک تأثیرگذار باشند. درحالی‌که مواد شیمیایی آلی به‌طور منفی در طیف گسترده‌ای از ریزجانداران خاک مؤثر است، دیگر آفت‌کش‌ها انتخابی عمل کرده و در کاهش تنوع زیستی بیشتر از جمعیت کل تأثیرگذار می‌باشند. بعضی از خاک‌ها که ده‌ها سال قبل مقادیر بالایی آفت‌کش‌های حاوی ارسنیک و یا مس در آن‌ها مصرف شده است، هنوز دارای مقادیر مہلک این مواد شیمیایی در خاک می‌باشند. به‌خاطر اثرات نامشخص آفت‌کش‌های معمولی بر کیفیت خاک، نظام‌های مدیریت تلفیقی آفت^۲ که سبب کاهش مصرف این مواد شیمیایی است باید مورد تأکید قرار گیرد.

^۱ - وقتی اراضی عاری از پوشش طبیعی (جنگل و مرتع) به زیر کشت برده شوند، کمبود نیتروژن و فسفر اول ظاهر می‌شود و کودها برای برآورده کردن این نیازها مصرف می‌شوند. هرچند برداشت پتاسیم نیز به‌وسیله گیاه سبب پایین آمدن مقدار آن در بعضی خاک‌ها می‌شود، به‌خصوص خاک‌هایی که شدیداً هادیده، و فاقد رس‌های ۲:۱ به‌خصوص ایلیت می‌باشند

^۲ - Integrated Pest Management Systems (IPM)

برنامه‌ی غذایی سالم: نظام‌های پرنهاده‌ی کشاورزی عمدتاً بر روی غلات، مانند گندم، ذرت و برنج که نصف کالری جهانی را تأمین کرده و عکس‌العمل خوبی به نهاده‌های خارجی مانند آب و کودها نشان می‌دهند، متمرکز گردیده و متأسفانه توجه کمتری به حیوانات (لویسا نخودها و عدس‌ها)، میوه‌ها و سبزی‌ها معطوف شده است. در نتیجه، عملاً اراضی زیر کشت این محصولات در بعضی از کشورها کاهش یافته است. برای نمونه در هندوستان مساحت اراضی اختصاص یافته به حیوانات از سال ۱۹۷۰، ۱۳ درصد کاهش یافته است. این امر اثرات زیان‌باری بر سلامت انسان داشته است، زیرا در مقایسه با غلات، حیوانات معمولاً از نظر پروتئین و عناصر کم‌مصرف و سبزی‌های برگی از نظر ویتامین بالاتر می‌باشند. امراض انسانی در ارتباط با کمبود عناصر کم‌مصرف مانند آهن و روی، و ویتامین A در کشورهای حاره‌ای شایع است. همچنین معمولاً پس‌مانده‌های حیوانات سبب ارائه نیتروژن آلی گردیده که به آهستگی برای گیاه بعدی آزاد می‌شود. در واقع تأکید بیش از حد بر روی غلات سبب کاهش کیفیت خاک در بسیاری از کشورهای جهان شده است.

امراض نباتی: انقلاب سبز نیز همین‌طور اثرات منفی بر کیفیت خاک داشته است، زیرا ارقام اصلاح‌شده معمولاً به‌صورت تک‌کشتی و به‌دنبال‌هم در فصول مختلف کشت شده‌اند. تحقیقات در بعضی مناطق کاهشی را در توان تولید زیستی نظام‌های تک‌کشتی نشان داده‌اند. این ممکن است این امر بر اثر تجمع عوامل بیماری‌زا و یا مواد شیمیایی آسیب‌رسان^۱ باشد که برای نبات مهلک بوده و یا سبب کاهش میزان ریزجانداران خاک می‌شوند. ممکن است کاهش همچنین در ارتباط با تنوع زیستی کمتر در خاک‌های نظام تک‌کشتی باشد، خصوصیتی که حاصل تنوع اندک در پس‌مانده‌های گیاهی و جانداران همراه می‌باشد که در تجزیه آن‌ها شرکت می‌کنند. در هر حال، وقتی نظام‌های کشت از مزایای تناوب زراعی بهره نمی‌برند سلامت و یا کیفیت خاک در ارتباط با آن‌ها کاهش می‌یابد.

کاهش تنوع زیستی: ممکن است کشاورزی متمرکز با نهاده‌های زیاد به‌طور معنی‌داری در فراوانی و تنوع زیستی جانداران خاک مؤثر باشد. می‌دانیم که بریدن و کشت اراضی جنگلی سبب کاهش تعداد قارچ‌ها و افزایش تعداد نسبی باکتری‌ها می‌شود (فصل ۱۵-۱۱ را مشاهده کنید). نسبت زیتوده‌ی قارچ‌ها به باکتری‌ها در خاک‌های تحت کشت ۱: ۱، در کمینه عملیات خاک‌ورزی ۱: ۳ و در مناطق جنگلی بیش از ۱: ۱۰۰ است. بر همین‌موتال، نظام‌های تک‌کشتی به‌خصوص در آن‌هایی که پس‌مانده‌های گیاهی برداشت شده و یا سوزانده می‌شوند سبب کاهش تعداد کرم‌های خاکی و سایر جانداران درشت خاک در مقایسه با تعداد آن‌ها در نظام‌های دارای تناوب کشت می‌گردند.

اثرات تمرکز نهاده‌ها در تنوع زیستی در بین گونه‌های باکتری‌ها تا حدی کمتر مشخص است زیرا اندازه‌ی فوق‌العاده کوچک آن‌ها اندازه‌گیری تنوع را در آن‌ها مشکل می‌سازد. هرچند ظهور ادوات پیشرفته جدید زیستی مولکولی که امکان تجزیه DNA را فراهم می‌سازد قبلاً ارتباط نزدیک بین میکروب‌های متعدد خاک را نشان داده و مشخص ساخته است که این ارتباط با تغییر محیط‌های نباتی تغییر می‌کند.

در فصل ۵-۱۶ استدلال نمودیم که نظام‌های تولید احشام متمرکز می‌توانند در کیفیت خاک تأثیر داشته باشند. در حالی که این نظام‌ها از نظر تبدیل علوفه به پروتئین کارا هستند، دارای اثرات منفی بر روی کیفیت و سلامت خاک می‌باشند. آن‌ها تولیدات گیاهی را از مناطق وسیع برداشت نموده و در یک کارخانه‌ی تولید حیوانی متمرکز می‌سازند، که فضولات حاصل از آن‌ها اغلب سبب آلودگی خاک‌های اطراف نظام‌های خاکی و آبی به‌وسیله‌ی نیتروژن، فسفر و عوامل بیماری‌زا می‌شود. کیفیت خاک با این تمرکز به‌طور منفی تحت تأثیر قرار خواهد گرفت.

۶-۲۰ تمرکز تولید برنامه‌ریزی نشده

نوع دوم تمرکز تولید محصولات، که به زارعین بومی در اثر افزایش سنگین جمعیت آن‌ها در نیمه‌ی دوم قرن گذشته تحمیل شده است، نیز وجود دارد. در سراسر جهان، میلیون‌ها مردم و اجداد آن‌ها از نظام‌های دامپروری و تولیدات گیاهی استفاده کرده‌اند که متکی به پوشش طبیعی برای نوسازی کیفیت خاک در فواصل کاربری‌ها می‌باشند. در نسبت‌های اندک جمعیت به منابع طبیعی که در نسل‌های اولیه وجود داشت، این نظام‌ها به‌طور معقولی پایدار بوده‌اند، اما با افزایش تعداد جمعیت، به‌دلیل گسترش خانواده‌ها و مهاجرت خانواده‌های بیشتر از سایر مناطق، این

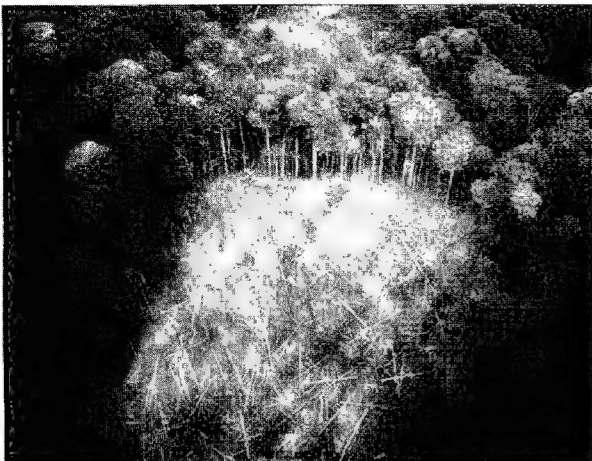
^۱ - Allelochemicals

نسبت به‌طور سرسام‌آور افزایش یافته و زمین بی‌رویه مورد استفاده قرار گرفته، و زمان برای تجدید حیات خاک^۱ به‌مقدار زیادی کاهش یافته است. ما به‌طور مجمل اثرات سه نوع از این نظام‌های تمرکز اجباری را بر روی خصوصیات خاک مورد تشریح قرار خواهیم داد.

کشاورزی جای‌گردان^۲

یکی از این نظام‌های بومی، نوعی کشاورزی نوبتی است که طی نسل‌ها در جنگل‌های گرمسیری در سرتاسر جهان مورد عمل قرار گرفته است. این نظام شامل قطع درختان و سوزاندن آن‌ها در کرت‌های کوچک در جنگل (شکل ۸-۲۰) می‌باشد، که در آن محصولات غذایی برای چندسال تولید می‌شود تا آن‌که عرضه عناصر غذایی حاصل از خاکستر به پایان رسیده، و یا گیاهان هرز غیرقابل تحمل گردند، در این‌صورت زارع برای بریدن و سوزاندن کرت دیگر به محل دیگری رفته و آنرا برای چند سال مورد کشت قرار داده، و سپس آنرا ترک می‌کند. این فرایند آن‌قدر تکرار می‌شود تا بعد از حدود ۱۰ تا ۲۰ سال، محل اولیه بار دیگر از پوشش طبیعی نسبتاً متراکم پاک و سوزانده شده و فرایند جابه‌جایی کشت‌وکار از یک محل به محل دیگر تکرار می‌شود. در طول ۱۰ تا ۲۰ سال رشد مجدد پوشش گیاهی کیفیت خاک را با اضافه‌کردن بقایای آلی، بازچرخ عناصر از بخش‌های عمیق خاک‌رخ و تثبیت نیتروژن نیوار تا حدی نوسازی می‌کند.

متأسفانه، تعداد افراد متکی به کشاورزی جای‌گردان در نیم‌قرن گذشته به‌طور سرسام‌آوری افزایش یافته است. امروزه، حداقل ۳۰۰ میلیون نفر مردم فقیر، عمدتاً در مناطق گرمسیر و نیمه‌گرمسیر، وابسته به این نظام‌های جابه‌جایی کشت برای تأمین غذا و زندگی خود می‌باشند. مساحت زمین‌هایی که در آن به نوعی کشاورزی جای‌گردان انجام می‌شود بسیار زیاد بوده و به ۳۰٪ کل اراضی قابل کشت جهان می‌رسد. در آفریقا کشت‌وکار جای‌گردان باعث از بین رفتن حدود ۷۰ درصد جنگل‌های گرمسیری گردیده است.



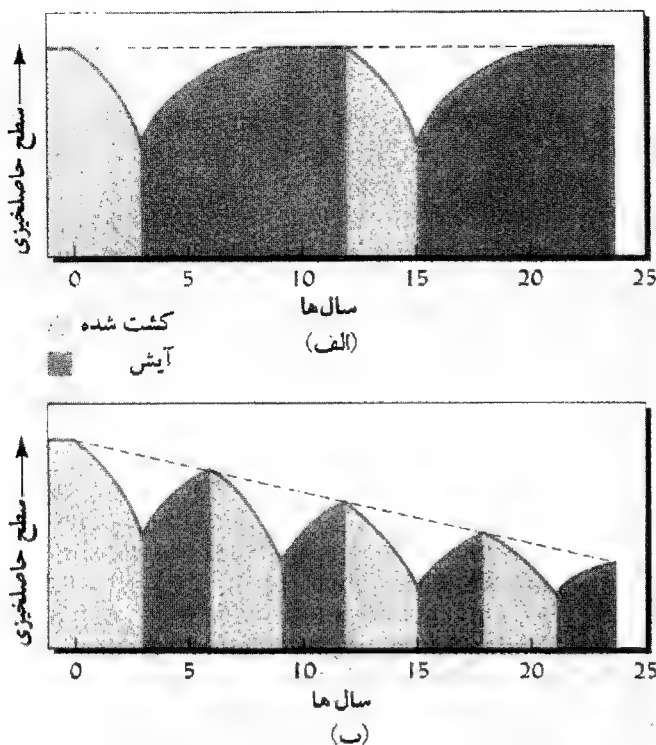
شکل ۸-۲۰ (چپ) منظره‌ای هوایی محل عملیات قطع و سوزاندن درخت در آمازون، درختان قطع شده و آماده سوزاندن می‌باشند. در عقب عکس قطع درختان به‌طور مشابه در حال انجام است. (راست) در مزرعه دیگر که قطع و سوزانده شده است، یک ردیف ذرت کشت شده و دیگر نباتات در تناوب با آن می‌آیند. به نبود گیاهان هرز در این حالت توجه کنید، اما بعد از چند سال، آلودگی گیاهان هرز و از بین رفتن حاصلخیزی، کشاورز را مجبور می‌سازد که به منطقه‌ی دیگری عزیمت کند.

افزایش تقاضا برای غذا سبب اعمال فشار برای کم‌کردن دوره آیش در این نظام‌ها گردیده و برگشت به کرت‌های اولیه قطع و سوزانده شده الزاماً به بیشتر از ۴ تا ۵ سال نمی‌رسد (شکل ۹-۲۰). زمان تجدید حیات خاک برای جبران عناصر غذایی و میزان ماده‌ی آلی و ممانعت از فرسایش خاک ناکافی است. بنابراین، فرسایش خاک افزایش، حاصلخیزی خاک کاهش و در نتیجه کیفیت خاک همراه با میزان عملکرد و رفاه

^۱ - Rejuvenate: توانایی یک خاک برای بهبود، به دنبال تخریب خاک حاصل از تغییرات کاربری Soil resilience نامیده می‌شود.

^۲ - Shifting agriculture: از آن‌جاکه اکثر اشکال کشاورزی نوبتی شامل بریدن و سوزاندن پوشش موجود می‌باشد، واژه Slash - and - burn معمولاً برای تشریح این نظام‌ها به کار می‌رود. نظام‌های کشاورزی نوبتی بسیاری وجود دارند که از جابه‌جاشدن ساده‌ی گله‌های عشایر از یک منطقه به منطقه دیگر (قشلاق و ییلاق) تا نظام‌های کامل کشت‌وکار و تناوب در اراضی زیر پوشش جنگل متراکم متغیر می‌باشند.

خانواده تخریب می‌شود. شکل ۹-۲۰ تفاوت بین نظام‌های سستی پایدار را با نظام‌های پرنهاده‌ی امروزی که بسیاری از زارعین مجبورند از آن استفاده کنند، تشریح می‌کند.



شکل ۹-۲۰ تغییرات میزان حاصلخیزی در نظام کشاورزی جای‌گردان. (الف) در یک نظام با آیش طولانی، پوشش طبیعی قادر است که حاصلخیزی خاک را پس از کشت و کار احیا سازد. (ب) با یک دوره آیش کوتاه که در مناطق با فشار جمعیت زیاد معمول است، زمان تجدید حیات کوتاه بوده و کاهش حاصلخیزی سریع است.

نظام‌های قطع و سوزاندن همچنین اثرات منفی بر کیفیت نیوار دارد. برآورد می‌شود که گاز کربنیک و دیگر گازهای آزادشده در فرایند سوزاندن ۲۵ درصد کل اثرات گرم‌شدن کره‌ی زمین را به‌عهده داشته باشند. برای جلوگیری از تخریب کیفیت هوا و خاک در این مناطق، کشاورزان نیازمند نظام‌های جایگزین مناسب به‌جای کشاورزی جایگردان متمرکز موجود می‌باشند که مجبور به انجام آن شده‌اند.

نظام‌های مرتعی کوچ‌رو^۱

نظام‌های مرتعی کوچ‌کننده در اراضی با مالکیت عمومی مناطق خشک، همراه با افزایش جمعیت انسانی و دوره‌های خشک‌سالی بر روی کیفیت خاک به‌خصوص در منطقه‌ی (ساحل) آفریقا به‌طور منفی تأثیرگذار بوده‌اند. حداقل ۷۵ میلیون نفر در مناطقی که این مسایل در آن‌ها وجود دارد زندگی می‌کنند. افزایش تعداد احشام و یا حتی با تعداد ثابت دام و علوفه اندک برای مصرف، سبب چرای بیش از حد شده است. بیشتر گیاهان مرغوب خوش‌خوراک عمدتاً از بین رفته، و بوته‌های نامرغوب غیرخوش‌خوراک باقی مانده‌اند. فرسایش بادی افزایش یافته (بخش ۱۱-۱۷ را مشاهده کنید)، و توان تولید زیستی کل همراه با کیفیت خاک کاهش یافته است. به‌نظر می‌رسد این تخریب به‌خاطر مجموع فشار مردم با بارندگی‌های اندک غیرمعمول باشد.

اراضی حاشیه‌ای و اراضی شهری

فشارهای جمعیت انسانی تا حدی سبب توسعه کشت محصولات در اراضی حاشیه‌ای برای کشاورزی مانند دامنه‌های پرشیب تپه‌های حساس به فرسایش شده است. بسیاری از خانوارهای بدون زمین در آمریکای مرکزی و جنوبی، آفریقا و آسیا برای زنده ماندن مجبور به استفاده از این اراضی می‌باشند. حدود ۸۰۰ میلیون نفر غذای خود را از کوهپایه‌های جنگلی به‌دست می‌آورند. برداشت عناصر غذایی خاک در محصول نهایی همراه با افزایش فرسایش، سبب کاهش توان تولیدزیستی و کاهش کیفیت خاک شده است.

^۱ -Nomatic Pastoral Systems

آخرین اثر منفی بر کیفیت خاک از نظر توان تولید زیستی استفاده‌ی هرچه بیشتر از اراضی برای مصارف شهری، صنعتی و حمل‌ونقل است. مسأله گسترش اراضی شهری در آمریکا کاملاً مشهود است، اما هدررفت مشابه اراضی کشاورزی نیز در سایر مناطق، به‌خصوص در کشورهای درحال‌توسعه، که در آن‌جا فشار جمعیت در بیشترین مقدار بوده و رشد اقتصادی بسیار چشم‌گیر است وجود دارد. برآورد می‌شود که توسعه مناطق شهری به‌تنهایی حداقل ۱ میلیون هکتار را سالانه مطالبه کند. به‌علاوه، این اراضی برای تولید محصول مرغوب‌ترین می‌باشند، زیرا شهرهای درحال رشد ابتدا در مناطقی ایجاد می‌شوند که از مزایای اراضی مرغوب زراعی برخوردار باشند.

قبل از آن‌که به آینده نظر داشته باشیم، باید به‌خاطر بسپاریم که در نیم‌قرن گذشته که در طول آن ۳ میلیارد هکتار دچار تخریب کیفیت خاک شده‌اند، چه کار کرده‌ایم (شکل ۱-۱۷ و جدول ۶-۲۰ را مشاهده کنید). اطلاعات جدول ۶-۲۰ مطرح می‌کند که اراضی کشاورزی ۳۸ درصد، مراتع دیم ۲۱ درصد، و اراضی جنگلی و درخت‌زار ۱۸ درصد کاهش کیفیت خاک داشته‌اند. تخریب خاک در اراضی کشاورزی در آفریقا و آمریکای مرکزی بسیار شدید بوده، اما مسأله به تمام قاره‌ها گسترش یافته است. از آن‌جاکه انسان‌ها عمدتاً مسوول کاهش کیفیت خاک هستند، ما باید در وارونه‌کردن این شیوه در نگاه به آینده جسورانه عمل کنیم.

جدول ۶-۲۰ مساحت اراضی که برای کشاورزی، مرتع دایمی و جنگل و درخت‌زار به‌کار می‌رود و برآورد درصد اراضی که دچار تخریب خاک (کاهش کیفیت خاک) ناشی از فعالیت انسان شده است. کاهش کیفیت خاک در اراضی کشاورزی، به‌خصوص در آفریقا و آمریکای مرکزی شدید است. در این مناطق بیشتر از دو سوم اراضی کشاورزی به‌طور منفی تحت تأثیر قرار گرفته‌اند.

کاربری اراضی	آفریقا	آسیا	آمریکای جنوبی	آمریکای مرکزی	آمریکای شمالی	اروپا	اقیانوسیه	جهان
مساحت اراضی کشاورزی (میلیون هکتار)	۱۸۷	۵۳۶	۱۴۲	۳۸	۲۳۶	۲۸۷	۴۹	۱۴۷۵
درصد تخریب شده	۶۵	۳۸	۴۵	۷۴	۲۶	۲۵	۱۶	۳۸
مساحت اراضی مرتع دایمی (میلیون هکتار)	۷۹۳	۹۷۸	۴۷۸	۹۴	۲۷۴	۱۵۶	۴۳۹	۳۲۱۲
در صد تخریب شده	۳۱	۲۰	۱۴	۱۱	۱۱	۳۵	۱۹	۲۱
مساحت اراضی جنگلی و درخت‌زار (میلیون هکتار)	۶۸۳	۱۲۷۳	۸۹۶	۶۶	۶۲۱	۳۵۳	۱۵۶	۴۰۴۸
درصد تخریب شده	۱۹	۲۷	۱۳	۳۸	۱	۲۶	۸	۱۸
مساحت کلی اراضی	۱۶۶۳	۲۷۸۷	۱۵۱۶	۱۹۸	۱۱۳۱	۷۹۶	۶۴۴	۸۷۳۵
درصد تخریب	۳۰	۲۷	۱۶	۳۲	۸	۲۷	۱۶	۲۳

۷-۲۰ چشم‌انداز آینده

سه عامل جهانی در تداوم کاهش کیفیت خاک در آینده مؤثر می‌باشند که عبارتند از: (۱) جمعیت و تقاضاهای ناشی از اقتصاد برای غذا و پوشاک، (۲) میزان آزمون‌بردن جنگل‌ها و مراتع و انجام کشت‌وکار در آن‌ها برای پاسخ به تقاضاها (۳) عزم جهانی برای توقف و حتی برعکس کردن تخریب زیست محیط در سرتاسر گیتی

تقاضا برای غذا و پوشاک

در ۲۵ سال آینده بیشتر از ۲/۵ میلیارد نفر به جمعیت انسانی جهان افزوده خواهد شد، که حدود ۹۰ درصد آن‌ها در کشورهای درحال‌رشد زندگی می‌کنند (شکل ۶-۲۰ را مشاهده کنید) بیشترین درصد افزایش در آفریقا بوده اما بزرگ‌ترین رقم مطلق افزایش در آسیا خواهد بود. این امر در جدول ۷-۲۰ منعکس شده است که تعداد کودکان دچار سوءتغذیه را در مناطق مختلف جهان نشان می‌دهد. افزایش جمعیت برای گسترش تقاضاهای جهانی برای خوراک و پوشاک تداوم خواهد داشت.

رشد اقتصادی در اکثر کشورهای در حال رشد همچنین سبب افزایش این تقاضا خواهد شد. گرچه اکثر مردم در این کشورها بسیار فقیرند، با این وجود، درآمد آن‌ها در حال افزایش است. با رشد اقتصاد و با مهاجرت مردم بیشتری از مناطق روستایی به شهر میزان مصرف غذای سرانه‌ی آن‌ها افزایش یافته و محصولات گوشتی و لبنی بیشتری در برنامه‌ی غذایی آن‌ها وارد خواهد شد. این دگرگونی نیازمند مصرف دانه‌های علوفه‌ای بیشتری برای انجام تغذیه انسان‌ها از محصولات دامی در مقایسه با مصرف مستقیم^۱ این دانه‌ها به وسیله‌ی انسان‌ها می‌باشد. در سال ۲۰۱۰ حدود ۲۵ درصد دانه مصرف‌شده در کشورهای در حال توسعه برای تغلیف احشام به کار می‌رود. در ربع قرن آتی حداقل ۱۰٪ افزایش تقاضا برای غذا ناشی از افزایش درآمد و تغییر برنامه‌ی غذایی، و بقیه ناشی از افزایش جمعیت است.

برای رفع این نیازها، باید غذای بیشتری در چهل سال آتی تولید شود چیزی حدود آن‌چه از آغاز کشاورزی تا حال تولید شده است. این نه تنها بر نقش خاک در تولید اثرگذار است، بلکه در نقش‌های مربوط به کیفیت محیط زیست، سلامت انسان، حیوان، و تنوع زیستی نیز مؤثر می‌باشد.

جدول ۷-۲۰ تعداد کودکان دچار سوءتغذیه تا سن ۶ سالگی در مناطق مختلف جهان در سال ۱۹۹۳، و درصد کودکان دچار سوءتغذیه در این مناطق. به تعداد زیاد در آسیا توجه کنید.

منطقه	کودکان دچار سوءتغذیه در سال ۱۹۹۳	
	تعداد (میلیون)	درصد
جنوب آسیا	۱۰۰	۵۷
آفریقای جنوب صحرا	۲۶	۳۰
چین و جنوب شرق آسیا	۴۳	۲۲
آمریکای لاتین	۹	۱۷
غرب آسیا و شمال آفریقا	۸	۱۵

توسعه‌ی اراضی زیر کشت

عرضه‌ی اکثر محصولات غذایی و پوشاکی جهان همچنان از کشاورزی پرنهاده در اراضی بسیار پرتولید جهان به دست می‌آید (جدول ۸-۲۰). هرچند مقداری نیز از توسعه‌ی اراضی قابل کشت به خصوص در آمریکای جنوبی، حاصل می‌گردد که هنوز دارای اراضی وسیع با توان کشاورزی می‌باشند. برای مثال، منطقه‌ی سرادو^۲ با خاک‌ها خیلی اسیدی آلومینیومی در برزیل مرکزی، احتمال برآوردن این انتظار را مطرح می‌کند. اصلاح اخیر ارقام پرمحصول گندم و سایر محصولات مقاوم در مقابل آلومینیوم امکان تولید این محصولات را در میلیون‌ها هکتار اراضی مسطح تا کم‌شیب، که تا حال برای کشت مورد استفاده نبوده‌اند، فراهم می‌سازد (جدول ۹-۲۰). با نظام‌های مناسب تناوب و مصرف متعادل کود شیمیایی، خاک‌های سرادو می‌توانند کاملاً پرتولید باشند. اگر علف‌های گندمی و گیاهان پوششی در تناوب و نظام عملیات خاک‌ورزی مورد استفاده قرار گیرند، فرسایش مهار خواهد شد. البته اقداماتی باید معمول داشت که حداقل ۱۵ درصد اراضی را برای بوستان‌ها و گذرگاه‌های سرپوشیده برای حفاظت حیات وحش و حفظ تنوع زیستی کنار گذاشته شوند. اگر این اقدامات انجام گیرند این اراضی دارای توان تولید می‌توانند به خوبی برای کشاورزی با کمترین اثرات منفی بر کیفیت کلی خاک مورد استفاده قرار گیرند.

بدبختانه، فقر و فشار جمعیت احتمالاً سبب توسعه‌ی مستمر کشت و کار در کوهپایه‌های پراکنده در خاک‌های آسیب‌پذیر خواهد گشت، توسعه‌ای که از قبل معلوم است سبب ایجاد خسارت در کیفیت خاک می‌گردد. ما بعداً بعضی اقدامات را که می‌توان برای به حداقل رساندن تخریب در خاک‌های این مناطق معمول داشت تشریح خواهیم کرد.

^۱ - تولید یک کیلوگرم گوشت جوجه، گوشت گاو، گوشت خوک به ترتیب نیازمند ۵۸،۳ کیلوگرم غله معادل است. گرچه ضایعات خانگی و مراتع نیز در تولید محصولات دامی مصرف می‌شوند، و کود دامی می‌تواند در کثیف خاک به طور مثبت تأثیر داشته باشد، اما اثر کلی مصرف محصولات دامی به طور چشم‌گیری سبب افزایش تقاضا برای غذا و پوشاک خواهد بود

^۲ -Cerrado

جدول ۸-۲۰ درصد تأثیر افزایش تولید ناشی از افزایش مساحت اراضی قابل کشت، تراکم کشت و عملکرد در هکتار در برخی از کشورهای درحال توسعه از ۸۴-۱۹۸۲ تا ۲۰۰۰

توجه کنید که برای آمریکای لاتین اکثر افزایش تولید مورد انتظار از افزایش عملکرد در هکتار می‌باشد.

منطقه	تأثیر در افزایش عملکرد		
	افزایش سطح زیر کشت	افزایش تراکم کشت	افزایش عملکرد در هکتار
آفریقای جنوب صحرا	۳۶	۱۷	۵۷
خاور نزدیک - شمال آفریقا	۵	۲۲	۷۷
آسیا (به استثنای چین)	۱۱	۲۰	۶۹
آمریکای لاتین	۳۹	۱۲	۴۹

تقاضا برای کیفیت محیط زیست

سومین عامل جهانی که بر کیفیت خاک تأثیر می‌گذارد، تقاضای جامعه برای توقف تخریب محیط زیست است. دیگر قابل قبول نیست که با قطع یک‌سره جنگل برای تولید اراضی زراعی بیشتر اقدام نمود، و یا گذرگاه‌های آب را با رسوب حاصل از فرسایش و یا طغیان گیاهان آبیزی حاصل از نیترات و فسفر حاصل از اراضی زراعی مسدود کرد. همین‌طور تخریب مداوم خاک‌های جهان دیگر قابل تحمل نیست.

جدول ۹-۲۰ تأثیر مدیریت خاک، محصول و عناصر غذایی در تولید محصولات زراعی، مرتع اصلاح شده و غرس درختان جنگلی در سرادو برزیل از ۱۹۷۰ تا ۱۹۹۰

استفاده متوسط از آهک و کودهای شیمیایی و گیاهان مقاوم به آلومینیوم امکان این افزایش را فراهم نموده است.

عامل	۱۹۷۰	۱۹۸۰	۱۹۹۰
مساحت اراضی تحت محصولات کشت شده (میلیون هکتار)	۴/۶	۷/۲	۱۰/۵
متوسط عملکرد تن در هکتار	۱/۲	۱/۳	۱/۹
میزان تولید محصول (میلیون تن)	۵/۶	۹/۴	۲۰
مرتع اصلاح شده (میلیون هکتار)	-	۱۵/۶	۳۰
غرس درختان جنگلی (میلیون هکتار)	-	۱/۵	۳

موانع موجود در تأمین تقاضاهای غذا و مواد رشته‌ای

چالش تأمین نیازهای غذایی و رشته‌ای در آینده هولناک‌تر از تجارب دهه‌ی ۱۹۶۰ است. از دو نهاد اصلی که سبب تقویت رشد ارقام انقلاب سبز بود، یعنی آب آبیاری و کودهای شیمیایی، نمی‌توان انتظار داشت که سبب افزایش عملکرد خاص مشابه در آینده گردند. انتظار بر این است که نرخ افزایش اراضی تحت آبیاری در کشورهای درحال توسعه (که سالانه ۱/۷ درصد از سال ۱۹۸۲ تا سال ۱۹۹۳ بود) از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۰ فقط ۰/۷ درصد باشد. اراضی بسیار مناسب با هزینه‌ی اندک برای آبیاری قبلاً توسعه یافته‌اند.

همین‌طور مصرف جهانی کود شیمیایی که از سال ۱۹۵۰ تا سال ۱۹۸۹ ده برابر افزایش یافت. اکنون در حدی ثابت شده است (شکل ۴-۲۰). در بسیاری از مناطق جهان، مصرف کود شیمیایی در سطح بهینه و یا در نزدیک آن می‌باشد^۱. برای مثال، در آسیای شرقی میزان مصرف کود شیمیایی درحال حاضر با آمریکا و اروپا رقابت می‌کند (شکل ۷-۲۰ را مشاهده کنید). در این نرخ بالای مصرف کود، برگشت سرمایه از مصرف بیشتر کودهای شیمیایی کاهش می‌یابد. درنتیجه، برگشت سرمایه حاصل از ۲۵ کیلوگرم نیتروژن اضافی در هکتار امروزه برای اکثر مزارع در آسیا بسیار کمتر از دهه‌ی ۱۹۶۰ و یا دهه‌ی ۱۹۷۰ خواهد بود.

^۱ - توان قابل ملاحظه‌ای برای پاسخ به کودهای شیمیایی در بعضی کشورهای درحال توسعه، به‌خصوص آفریقا وجود دارد. راه‌های برآورد این نیازها در بخش ۱۰-۲۰ مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

به نظر می‌رسد که این موانع دلیل اصلی این واقعیت باشد که عملکرد سالانه‌ی گندم و برنج در دهه ۱۹۹۰ فقط حدود یک درصد افزایش داشته است. درحالی‌که در بین سال‌های ۱۹۶۰ تا ۱۹۸۰ افزایش سالانه دو برابر این نرخ بوده است. این موانع بر اهمیت چالش موجود در برابر کشاورزان برای پیدا کردن راه‌های رفع تقاضاهای غذایی آینده در مقیاس جهانی تأکید دارد.

انگاره‌ای نو در تولید فراورده‌های گیاهی

چالشی دو گانه در پیش‌رو است: ارضای تقاضاهای بی‌شمار برای غذا و سلامت انسان و دام بدون زیان‌رساندن به کیفیت محیط زیست. برای تحقق این چالش انگاره‌ای نو در تولید غذا و رشته در مقیاس جهانی درحال آشکارشدن است. در گذشته فناوری و توجیه اقتصادی کوتاه‌مدت مبنای اصلی مشخص‌کننده‌ی نظام‌های تولید مواد غذایی بوده‌اند. درحالی‌که با ملاحظات اقتصادی هنوز باید توافق داشت، نگرش جدید این است که ما باید ملاحظات بیشتری بر مبنای بوم شناختی در نظام‌های تولید مواد غذایی خود قائل باشیم. این درک جدید با استفاده از دانش و فناوری به ما کمک می‌کند که فراگیریم چگونه کشاورزی باید با بوم‌سامان‌های دیگر تعامل داشته باشد. این نگرش به ما کمک می‌کند که توجه خود را بروی نظام‌های تولید مواد غذایی معطوف داریم که هدررفت‌ها را به حداقل رسانده و نظارت بر منابع طبیعی را برای تولید مواد غذایی و پناه‌گاه طبیعی و یا سایر اهداف به حداکثر برسانند. این امر مطمئناً تغییرات مهمی را در روش‌های به‌کار گرفته‌ما برای تأمین غذا ایجاد خواهد کرد، تغییراتی که اثرات مهمی بر کیفیت خاک خواهند داشت، ما با تغییرات مورد نیاز در نظام‌های تجاری پرنهاده شروع خواهیم کرد.

۸-۲۰ نظام‌های کشاورزی پرنهاده تغییر یافته

تولید مواد غذایی و رشته‌ای در اراضی مناسب همچنان به تمرکز خود، شاید حتی بیشتر از سابق ادامه خواهد داد. هر چند اگر قرار باشد کیفیت خاک نگهداری‌شده و یا ارتقاء یابد، ما باید روش‌های جدید و تغییر یافته مدیریت خاک و محصول را اعمال کنیم که سبب کاهش آلودگی خاک، آب و نیوار گشته و باعث کارایی استفاده از آب و کود، حفظ و یا افزایش کمیت و کیفیت مواد آلی، کاهش فرسایش خاک و افزایش تنوع زیستی می‌گردد. از آن‌جاکه مدیریت کود می‌تواند در تعدادی از این اهداف تأثیرگذار باشد، اول آن‌را مورد بحث قرار خواهیم داد.

مدیریت عناصر غذایی

به‌استثنای آفریقای جنوب صحرا و بعضی مناطق در آمریکای مرکزی و جنوبی، احتمالاً توسعه اندکی در محصولات غذایی از افزایش مصرف کود به‌دست خواهد آمد. در واقع، در بخش‌هایی از اروپا، ایالات متحده و آسیا که مقادیر مصرف کود درحال حاضر به‌مقدار زیادی بیشتر از میزان جذب نبات است، میزان مصرف کود احتمالاً باید کاهش یابد. در این مناطق، باید مفهوم تولید «بیشترین با کمترین نهاده‌ها» غالب باشد. مواد غذایی اضافی نه از کود بیشتر بلکه از بازدهی بیشتر استفاده از عناصر غذایی در خاک، چه از منابع آلی و چه از منابع معدنی به‌دست خواهد آمد. عناصر غذایی طبیعی و یا استعمال‌شده برای تولید عملکرد بالا باید به‌گونه‌ای کارا در بازچرخ قرار گرفته و هدررفت به محیط زیست باید به کمینه مقدار برسد.

ترکیب آلی و معدنی: تحقیق نشان داده است که ترکیب کودهای معدنی و پس‌مانده‌های آلی انواع محصولات زراعی در تناوب می‌تواند سبب حفظ، و یا حتی افزایش عملکرد با کاهش مقدار عناصر غذایی معدنی شود. این تا حدی مربوط به ارتقای چرخه عناصر غذایی و یا تأثیر پس‌مانده‌های گیاهی بر کیفیت ماده‌ی آلی خاک و زیتوده‌ی میکروبی می‌باشد. ظاهراً، در نظام‌های سستی فقط با یک یا دو نبات در تناوب میزان بخش فعال ماده‌ی آلی خاک پایین است. در نظام‌های با تنوع بیشتر با چند محصول در تناوب، و با مقادیر کمتری کود شیمیایی میزان‌های بالاتری از بخش فعال ماده‌ی آلی در خاک یافت می‌شود. همچنین خاک در این نظام با تنوع محصولات دارای میزان نیتروژن زیتوده (بیانگر میزان میکروب بیشتر) بیشتر و سطوح بالاتر معدنی‌شدن نیتروژن می‌باشد. تعامل بین گیاهان کاشته شده، کیفیت ماده‌ی آلی خاک و تعداد میکروب‌ها و توانایی آن‌ها در آزادساختن نیتروژن و دیگر عناصر غذایی برای جذب نبات در جدول ۱۰-۲۰ تشریح شده است.

تناوب زراعی: تناوب زراعی دارای مزایای دیگری در مقایسه با نظام‌های تک‌کشتی معمول در کشاورزی پرنهاده می‌باشد. عملکرد دو محصول در صورت کشت آن‌ها به‌دنبال هم در یک مزرعه و یا کشت مخلوط آن‌ها در همان مزرعه بالاتر می‌باشد. اگر گیاهان نیامدار در تناوب قرار گیرند، آن‌ها نیتروژن اضافی را برای نظام فراهم می‌کنند. گیاهان علوفه‌ای سبب تقویت تولید دامی پایدار بر مبنای عدم تمرکز گردیده، و

استفاده از کود دامی را برای عرضه عناصر غذایی و ماده‌ی آلی تضمین می‌کنند. گیاهان متراکم در تناوب به کنترل فرسایش کمک نموده و با کمک پس‌مانده‌های گیاهی سبب افزایش چشم‌گیر ظرفیت نفوذ آب در خاک می‌شوند. اگر نظام شامل گیاهان پوششی زمستانه باشد، عناصر غذایی باقی‌مانده‌ی آخر فصل از زراعت‌های اصلی می‌توانند ذخیره شده و از آلودگی آب جلوگیری می‌گردد. مطالعات نظام‌های کشت‌وکار به روشنی مشخص کرده‌اند تناوب‌هایی که شامل کشت‌های متراکم از جمله نیامداران می‌باشند، می‌توانند سبب کیفیت خوب خاک گردند.

جدول ۱۰-۲۰ اثر عملیات حفاظتی بر عوامل کیفیت خاک در ارتباط با ماده‌ی آلی در هر منطقه خاک از ۷ جفت مزرعه‌ی مجاور مورد تجزیه قرار گرفت در یکی از عملیات حفاظتی (عملیات خاک‌ورزی کاهش یافته، تنوع محصول بیشتر، گیاهان چمنی بیشتر در تناوب و / یا استفاده از منابع آلی) استفاده شد، درحالی‌که عملیات سستی (عملیات شخم بیشتر، تنوع محصول کمتر...) در دیگری مورد استفاده قرار گرفت. توجه کنید که اثر بر روی کربن آلی کل خاک درمقایسه با اثر بر روی بخش فعال ماده‌ی آلی خاک و خصوصیات آن کمتر چشم‌گیر بود.

خاک‌های دشت دامنه‌ای		خاک‌های دشت‌های ساحلی		خصوصیات
مدیریت سستی	مدیریت حفاظتی	مدیریت سستی	مدیریت حفاظتی	
۱۵	۱۹	۹	۱۰	کربن آلی کل g/kg
۱۱۲	۱۳۴	۷۵	۱۲۱	بخش فعال کربن آلی mg/kg ^۱
۳/۴	۴/۰	۱/۷	۲/۵	کربن زیتوده میکروبی، % کل کربن
۳/۴	۴/۶	۳/۵	۴/۴	عدد ثابت میزان معدنی‌شدن ^۲ نیتروژن
۶۶	۷۳	۵۶	۷۲	پایداری خاکدانه‌ها، درصد

(۱) پس از تخریب خاک به وسیله‌ی طول‌موج‌های ریز فقط قند قابل عصاره‌گیری بود

(۲) ثابت نرخ k از معادله $N_p = N_0 e^{-kt}$

در نظام‌های کشت‌وکار تمایل درحال افزایش کاربرد منابع آلی و سنگ‌های طبیعی حاوی عناصر غذایی به‌تنهایی و استفاده از راه‌های غیرشیمیایی مبارزه با آفات می‌باشد. این نظام‌های کشت آلی از عناصر غذایی موجود در منابعی مانند کود دامی، پس‌مانده‌های گیاهی (به‌خصوص خانواده‌ی بقولات (نیامداران)) و سنگ‌های طبیعی استفاده می‌برند. اگرچه میزان عملکرد در هکتار ۵ تا ۱۵ درصد کمتر از نظام‌های پرنهاده‌ی کشت‌وکار است. هزینه‌های نهاده‌ی کم و قیمت‌های تشویقی دریافت‌شده برای غذاهای تولیدشده از منابع آلی می‌تواند سبب سودی بیشتری شود. کیفیت خاک معمولاً به‌طور مثبت تحت تأثیر قرار گرفته و آبشویی عناصر و فرسایش نیز به کمینه مقدار می‌رسد. هرچند متأسفانه میزان اراضی، که احتمالاً به کشت‌وکار آلی اختصاص می‌یابد، به‌دلیل محدودیت وجود منابع مناسب آلی حاوی عناصر غذایی، و همچنین به‌علت کاهش احتمالی قیمت‌های تشویقی در صورت توسعه‌ی تولید، اندک می‌باشد.

مدیریت آب

کمبود آب احتمالاً سبب محدودیت توانایی ما در تأمین نیازهای غذایی آبی خواهد شد. کارایی بیشتر با استفاده از هر دو منبع بارش و آب آبیاری باید حاصل شود. تناوب کشت متنوع، که شامل نباتات متراکم همراه با عملیات خاک‌ورزی حفاظتی می‌باشد می‌تواند با ایجاد پوشش بیشتری بر روی خاک سبب افزایش میزان نفوذ و کاهش رواناب و فرسایش شود. این مهم می‌تواند سبب بهبود کارایی آب برای تولید محصول گردد. به‌همین شکل نظام‌های مدیریت آبیاری مانند آبیاری قطره‌ای، که سبب کاهش میزان آب مورد نیاز برای تولید محصول می‌شود باید به‌طور گسترده مورد استفاده قرار گیرد. نظام‌های پیشرفته زه‌کشی که در مناطق تحت آبیاری ایفای نقش می‌کنند، باید از تراکم نمک‌ها ممانعت کرده و بنابراین، سبب حفظ کیفیت خاک شوند.

تنوع زیستی

نظام‌های پرنهاده که دارای تنوع محصولات در تناوب می‌باشد به‌خصوص اگر نیامداران و غیرنیامداران را شامل باشند مطمئناً سبب افزایش تنوع زیستی در خاک خواهند شد، نه تنها تعداد ریزجانداران افزایش یافته، بلکه تنوع غذایی آلی برای آن‌ها سبب تقویت تنوع بیشتری شده و کیفیت خاک نهایتاً بهره‌مند خواهد گردید.

۹-۲۰ بهبود نظام‌های کشاورزی با عملکرد پایین

اعمال مدیریت برتر در نظام‌های دارای عملکرد پایین، به‌خصوص در مناطق حاره‌ای برای زندگی بهتر صدها میلیون مردم فقیر در کشورهای درحال توسعه در سرتاسر جهان اساسی است. در بعضی مناطق، مانند اکثر آفریقای جنوب صحرا مسأله‌ای اصلی نبود عناصر غذایی است. به‌علت برداشت این عناصر در محصولات مختلف، و آبشویی زیاد این عناصر از تمام منابع آن‌ها، خاک‌ها از این عناصر تخلیه شده‌اند. برآورد می‌شود در طول ۳۰ سال گذشته به‌طور متوسط ۶۶۰، ۷۵ و ۴۵۰ کیلوگرم به ترتیب نیتروژن، فسفر و پتاس در هر هکتار در سطح ۲۰۰ میلیون هکتار اراضی زراعی آفریقای جنوب صحرا برداشت شده است.

موانع خاکی دلیل اصلی توان تولید کم در بسیاری از مناطق دیگر حاره‌ای است (جدول ۱۱-۲۰). کیفیت خاک سالانه درحال کاهش است و این امر درصورت پیداشدن راه‌هایی برای افزایش عناصر غذایی تداوم خواهد یافت. نظام‌های کشت‌وکار که سبب چرخه‌ی عناصر غذایی و حفاظت خاک درمقابل فرسایش می‌شوند بخش مهمی از راه‌حل می‌باشند. اما در دیگر مناطق مقادیر قابل توجهی از عناصر غذایی خارجی اضافی مورد نیاز خواهد بود.

جدول ۱۱ - ۲۰ درصد مساحت ۵ منطقه‌ی بوم‌شناخت کشاورزی حاره‌ای که خاک دارای موانعی شیمیایی برای رشد محصول است

مانع خاک	% منطقه گرمسیر مرطوب	% منطقه ساوانای اسیدی	% منطقه گرمسیر نیمه‌خشک	% منطقه گرمسیر پرشیب	% منطقه گرمسیر باتلاقی	% جمع
سمیت Al	۵۶	۵۰	۱۳	۲۹	۴	۳۲
اسیدیته بدون سمیت Al	۱۸	۵۰	۲۹	۱۶	۲۹	۲۵
تثبیت بالای p به‌وسیله‌ی اکسیدهای Fe	۳۷	۳۲	۹	۲۰	۰	۲۲
CEC پایین	۱۱	۴	۶	—	—	۵
شوری	۱	۰	۲	۰	۷	۱

برای تشریح چگونگی افزایش تولید محصولات و دستیابی به ارتقای کیفیت خاک در مناطق با تولید فعلی پایین ما توجه خود را به موقعیت آفریقای جنوب صحرا معطوف خواهیم داشت. منطقه‌ای که در آن کیفیت خاک در حال افول بوده و تنها منطقه‌ی عمده‌ای از جهان است که در آن تولید غذای سرانه در ۲۵ سال گذشته کاهش یافته است. هرچند، اصول موجود می‌تواند در نظام‌های کشاورزی با عملکرد پایین در بسیاری از مناطق دیگر گرمسیری نیز به‌کار برده شود.

۱۰-۲۰ بهبود کیفیت خاک در آفریقای جنوب صحرا^۱

ارزیابی کیفیت خاک برای مقاصد کشاورزی در آفریقا مطرح می‌کند که حدود ۵۵٪ اراضی در سطح قاره برای هر نوع کشاورزی به‌استثنای چرای عشایری، نامناسب است (جدول ۱۲-۲۰). ۳۰ درصد جمعیت کشور زندگی محقرانه‌ای خود را از این مناطق به‌دست می‌آورند. خاک‌هایی

^۱ - مطالعات متعددی در مورد عوامل موثر در تولید غذا در آفریقا و تأثیر روش‌های تولید در کیفیت خاک به عمل آمده است از جمله آن‌ها (Eswaran et al, ۱۹۹۷ b) و Bresh & sanchez ۱۹۹۷ می‌باشند.

با کیفیت پایین در ۱۶ درصد اراضی، که ۲۳ درصد جمعیت در آن زیست می‌کنند قرار دارند این خاک‌ها با محدودیت‌هایی مانند اسیدیته شدید، لایه‌های غیرقابل نفوذ و تجمع نمک‌ها مواجه می‌باشند.

خوشبختانه خاک‌ها با کیفیت متوسط تا بالا در ۲۹ درصد اراضی که ۴۷ درصد جمعیت در آن‌ها زندگی می‌کنند، وجود دارند. این خاک‌ها از عوامل محدودکننده اصلی عاری بوده و در مناطقی یافت می‌شوند که بارندگی حداقل برای یک محصول در سال پایدار و کافی است. این خاک‌ها، اگر نظام‌های پرنهاده پایدار در آن‌ها به کار گرفته شود، برای تولید مواد غذایی و رشته‌ای دارای پتانسیل بالایی می‌باشند.

کمبود عناصر غذایی

مطالعات ورودی و خروجی عناصر غذایی از اراضی زراعی آفریقای جنوب صحرا نشان‌دهنده یک تعادل منفی خطرناک می‌باشد که بیانگر کاهش کیفیت خاک است. عناصر غذایی بیشتر از آنچه به خاک افزوده شوند از خاک برداشته می‌شوند. تعادل N.P.K برای ۱۳ کشور (که همگی منفی می‌باشند) در جدول ۱۳-۲۰ نشان داده است. روی هم رفته در سال ۲۰۰۰ کشورهای آفریقایی صحرا^۱ هر سال از اراضی زراعی خود ۶/۱ میلیون تن نیتروژن، ۷/۴ میلیون تن فسفر، و ۴/۶ میلیون تن پتاس (جدول ۱۳-۲۰ را مشاهده کنید) را از دست می‌دهند. درحالی که عملکرد پایین سبب کاهش نسبی میزان عناصر غذایی خواهد شد. مصرف خیلی کم کودهای شیمیایی، معمولاً کمتر از ۱۰ کیلوگرم در هکتار نمی‌تواند به سادگی سبب جایگزینی عناصر خارج شده گردد.

جدول ۱۲-۲۰ درصد اراضی آفریقا که به وسیله‌ی کلاس‌های مختلف کیفیت خاک مشخص شده، و درصد مردم قاره که در آن زندگی می‌کنند. توجه کنید ۳۰ درصد مردم در ۵۵ درصد اراضی قرار گرفته‌اند که کیفیت خاک نامناسب قلمداد شده است، هرچند ۴۷ درصد مردم در ۲۹ درصد اراضی (حدود ۹۰۰ میلیون هکتار) زندگی می‌کنند که کیفیت خاک متوسط و به بالا قلمداد شده است.

کیفیت خاک	درصد آفریقا	
	مساحت اراضی	جمعیت مردم
بالا	۱۶	۳۱
متوسط	۱۳	۱۶
پایین	۱۶	۲۳
نامناسب	۵۵	۳۰

جدول ۱۳-۲۰ تعادل متوسط K₂O و P₂O₅ بر حسب کیلوگرم در هکتار در سال در اراضی زراعی در چند کشور آفریقایی در سال ۲۰۰۰. چنین تعادل منفی (نهاده منهای ستانده) بیانگر تخریب واقعی خاک‌های آفریقا است، که برای پایداری کیفیت کل حیات در این قاره به ناچار باید متوقف گردد.

کشورها		کامرون	اتیوپی	غنا	کنتا	مالاوی	نیجریه	رواندا	سنگال	تانزانیا	زیمبابوه	متوسط
تعادل	نیتروژن	-۲۱	-۴۷	-۳۵	-۴۶	-۶۷	-۳۷	-۶۰	-۱۶	-۳۲	-۲۷	-۳۹
سال	فسفر	-۲	-۷	-۴	-۱	-۱۰	-۴	-۱۱	-۲	-۵	-۲	-۵
kg/ha	پتاسیم	-۱۳	-۳۲	-۲۰	-۳۶	-۴۸	-۳۱	-۶۱	-۱۴	-۲۱	-۲۶	-۳۰

کودهای شیمیایی، منبع آشکار جبران تخلیه‌ی عناصر غذایی در خاک می‌باشند. بدبختانه، کارخانه‌های کود شیمیایی محلی اندک بوده، و به‌خاطر فاصله زیادی که کودهای شیمیایی صادراتی باید حمل گردند، قیمت آن‌ها دو برابر قیمت جهانی است. این سبب عدم رغبت در مصرف عناصر غذایی، به‌خصوص در مناطق دورافتاده که در آنجا کشاورزی جای‌گردان وجود دارد شده است. معادن سنگ فسفات محلی، که بسیاری از آن‌ها در مناطق آفریقای جنوب صحرا وجود دارند، عمدتاً توسعه نیافته است، زیرا فسفر موجود در این مواد به آهستگی برای اکثر نباتات

^۱ - از آن‌جاکه اکثر کشاورزی کشور آفریقای جنوبی از نظام‌های پرنهاده کشاورزی استفاده می‌کند، این کشور از آفریقای زیر صحرا (SSA) حذف شده است.

قابل استفاده می‌باشد. نوآوری در ترکیب منابع معدنی و آلی عناصر غذایی برای افزایش نهاده‌های غذایی، و چرخه‌ی عناصر پس از ورود به خاک باید مورد استفاده قرار گیرد.

مدیریت عناصر غذایی

نظام‌های جنگل- زراعی، که گونه‌های درختی سریع‌الرشد تثبیت‌کننده‌ی نیتروژن را در تلفیق با نظام‌های کشت و کار سستی قرار می‌دهد، در عرض‌ه‌ی هرچه بیشتر عناصر غذایی و ارتقاء چرخه‌ی آن‌ها در نظام خاک-نبات، همزمان با افزایش توان تولید نبات و کیفیت خاک امیدوارکننده بوده است. ما قبلاً (بخش ۸-۱۳ را مشاهده کنید) درباره توانایی درختان ریشه عمیق سریع‌الرشد برای بازچرخ نیترات‌ها که تا عمق چندین متر در خاک‌های مناطق حاره آبشویی یافته‌است، صحبت نمودیم. نیتروژن چنین بازیافت‌شده (اغلب به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) وقتی پس‌مانده‌های گیاهی در سطح خاک توزیع و تجزیه گردند، می‌تواند به وسیله‌ی کشت‌های محصولات خوراکی مصرف شود. این نیتروژن بازیافت‌شده یک نهاده واقعی در نظام‌های تولید مواد غذایی است زیرا درغیراین صورت نیتروژن در داخل زهاب‌ها از دست خواهد رفت.

رشد درختان سریع‌الرشد تثبیت‌کننده‌ی نیتروژن در طول فصل آیش، بعد از برداشت محصولات غذایی منبع دیگر نیتروژن برای نظام تولید در مناطق نیمه‌مرطوب است (جدول ۱۴-۲۰ و شکل ۱۰-۲۰). میزان تثبیت نیتروژن معادل میزان تثبیت آن در گیاهان علوفه‌ای نیامدار در آمریکا می‌باشد. وقتی بقایای چوبی نیامداران به خاک اضافه شده و تجزیه گردند، مقداری نیتروژن برای جذب گیاه آزاد می‌شود. بخشی از نیتروژن در اشکال فعال‌تر ماده‌ی آلی و زیئوده‌ی میکروبی وارد گردیده و برای استفاده‌ی بعدی نبات قابل استفاده خواهد بود. تثبیت زیستی یک منبع قابل توجه نیتروژن به حساب آمده، و باید به‌طور کامل مورد استفاده قرار گیرد.

جدول ۱۴-۲۰ عملکرد ذرت در یک مزرعه در کنیا به دنبال یک و یا دو سال آیش که در آن گونه‌های مختلفی کاشته شده بودند. توجه کنید که عملکردهای بالا از کرت‌هایی به دست آمد که در آن *Sesbania*، یک درخت تثبیت‌کننده‌ی نیتروژن کشت شده بود. در طول ۵ سال، ۲ سال آیش *Sesbena* و سه سال ذرت، مقدار تولید دانه‌ی ذرت با توجه به نیروی کارگری کمتر در مقایسه با دو نظام مورد استفاده جدید (آیش علف گندمی و ذرت کود نخورده) بیشتر بود. چنین نظام‌های جنگل- زراعی در بخش‌های مختلف قاره آفریقا بسیار نویدبخش می‌باشند.

تیمار	عملکرد دانه ذرت تن در هکتار
دو سال <i>Sesbena sesban</i>	۵/۴
ذرت با مصرف کود	۴/۰
یک سال <i>Sesbena sesban</i>	۳/۴
تناوب بادام زمینی - ذرت	۱/۹
آیش علف گندمی	۱/۸
ذرت بدون مصرف کود	۱/۱

ترکیب مواد آلی / معدنی

به نظر می‌رسد ترکیب بقایای آلی و کودهای شیمیایی دارای اثرات هم‌افزایی^۱ باشند، افزایش عملکرد در این ترکیب بیشتر از عملکرد تک‌تک آن‌هاست (شکل ۱۱-۲۰). دانشمندان و زارعین در تمام بخش‌های جهان دریافته‌اند که با ترکیب این مواد آلی به عنوان پس‌مانده‌های محصول، کف‌پوش جنگل- زراعی، فضولات دامی و کمپوست با مقادیر اندک کودهای شیمیایی می‌توان عملکرد را افزایش داده و همزمان با آن کیفیت خاک را حفظ کرده و یا ارتقاء دهند. درحالی که سازوکار دخیل در افزایش عملکرد هنوز به‌خوبی مشخص نشده است، به نظر می‌رسد که اثرات هم‌افزایی مواد آلی و مواد معدنی در ارتباط با تأمین آب، فعالیت ریزجانداران و ترشحات ریشه‌ای^۲ باشد (بخش‌های ۷-۱۱ و ۳-۱۲) را مشاهده کنید.

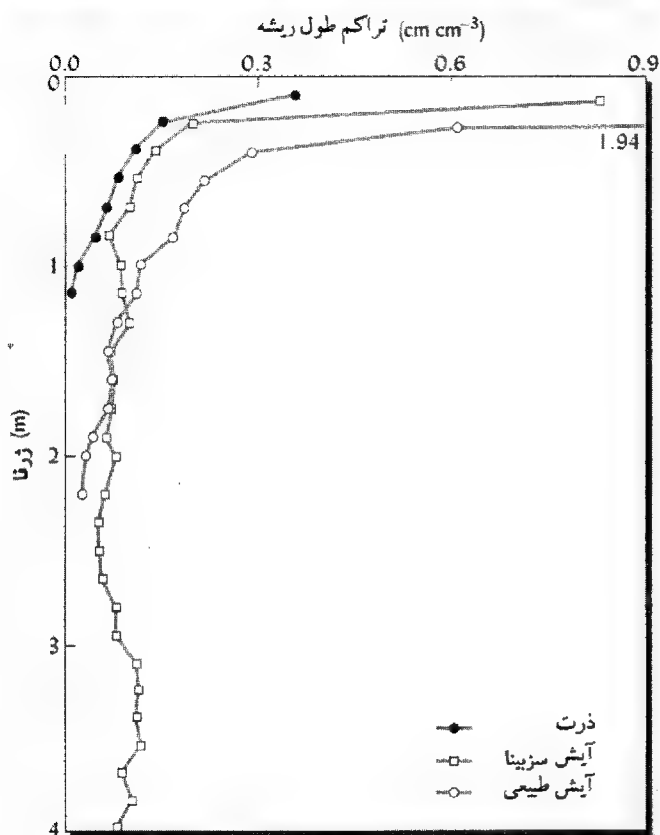
^۱ -Synergistic

^۲ -Rhizodeposition

تحقیق در مزارع زارعین روشن ساخته که جبران فسفر خاک در خاک‌های آفریقا عمدتاً از منابع معدنی تأمین، و به‌وسیله‌ی منابع زیستی تکمیل می‌شود. برعکس جبران نیتروژن احتمالاً عمدتاً از منابع زیستی بوده و با منابع معدنی تکمیل می‌شود. ما به جنبه‌های مدیریت کود با تلفیق نهاده‌های آلی و معدنی برای ارتقای توان تولید محصول تأکید کرده‌ایم. هرچند باید باز هم تأکید کرد که این نظام تلفیقی دارای اثرات سودمند مشابهی بر سایر عوامل کیفیت خاک از جمله استفاده از آب، مهار فرسایش خاک، و تنوع زیستی و خلاصه، در ارتقای کیفیت خاک خواهد داشت.

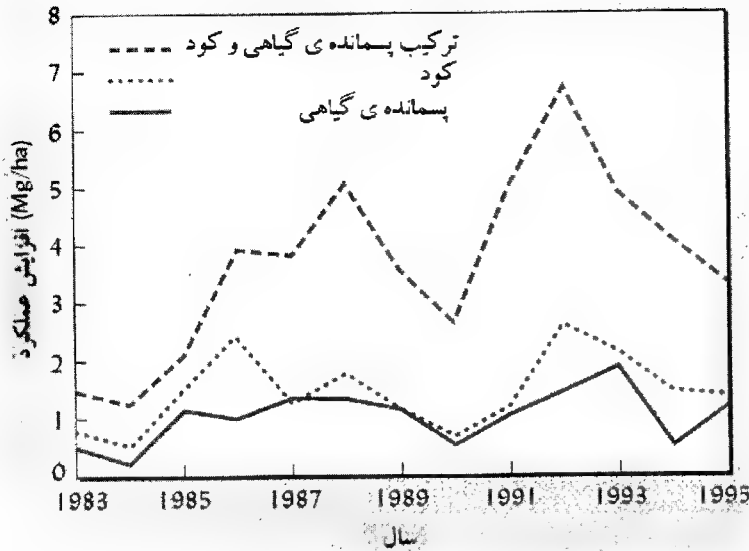


(الف)



(ب)

شکل ۱۰-۲۰ دانشمندان و زارعین به اثرات مفید و قابل توجه قراردادن درختان سریع‌الرشد تثبیت‌کننده‌ی نیتروژن در تناوب با گیاهان خوراکی در آفریقا پی برده‌اند. (بالا) رشد خیلی زیاد یک چنین درخت نیامدار *sesbania sesbena* در یک مزرعه در زامبیا نشان داده شده است. نظام ریشه‌ی خیلی عمیق این درخت (پایین) سبب تقویت باز چرخ سایر عناصر غذایی، از جمله نیتروژن می‌شود. عملکرد قابل توجه ذرت به‌دنبال *sesbena* در جدول ۱۴-۲۰ نشان داده شده است.



شکل ۱۱-۲۰ افزایش عملکرد ارزن مرواریدی با استعمال جداگانه و توأم پسماندهای گیاهی و کودهای شیمیایی طی ۱۳ سال کشت و کار در آفریقای غربی. میزان عملکرد در مزارعی که هر دو منبع کودی را با هم دریافت داشته بودند معمولاً از مجموعه‌ی عملکرد در مزارعی که هر دو کود را جداگانه دریافت داشته بودند بیشتر بود. اثرات سودمند مصرف توأم مواد آلی و معدنی در شکل به خوبی به نمایش گذاشته شده است

نظام‌های جنگل- زراعی به‌عنوان جایگزین قطع و سوزاندن

بعضی از نظام‌های جنگل- زراعی وجود دارند که می‌توانند جایگزین‌های خوبی برای روش‌های مخرب قطع و سوزاندن باشند که امروزه در آفریقا و سایر مناطق در گرمسیر مورد استفاده می‌باشد، دو نوع از نظام‌ها را به‌طور مختصر مورد تشریح قرار می‌دهیم.

مخلوط محصولات درختی^۱: در این نظام درختان اهلی در داخل گونه‌های درختی بومی کشت شده تا زمانی که گونه‌های غرس شده غالب می‌شوند. چهره‌ی اصلی نظام این است که خاک هیچ‌وقت از پوشش خالی نخواهد بود. با توجه به تجارب موجود در نظام‌های سنتی، بعضی از دانشمندان تکثیر درختانی را که تولید محصولات باارزش (میوه‌ها، محصولات آجیلی و داروهای گیاهی) که برای تولیدکننده درآمد بیشتری ایجاد کند، توصیه می‌کنند. باغچه‌های خانگی کاندی^۲ در سیلان و جنگل‌های تلوم^۳ در شمال شرق مکزیک نمونه‌های دلگرم‌کننده از نظام‌های موفق توسعه‌یافته به‌وسیله‌ی مردم بومی می‌باشند. با آن که نظام مخلوط درختی نیازمند اطلاعات جامع از گونه‌های تحت مدیریت است، این نظام سبب تولید درآمد بسنده در ضمن تضمین کیفیت خاک می‌گردد.

کشت کوچه‌ای^۴: نظام جنگل- زراعی که کشت کوچه‌ای نامیده می‌شود شامل کشت محصولات غذایی در کوچه‌هایی می‌باشد که مرزهای آن‌ها به‌وسیله‌ی درختان و یا بوته‌های دارای رشد سریع و اغلب از خانواده نیامداران تشکیل می‌شود. این چپ‌ها برای جلوگیری از سایه‌اندازی بر روی محصولات غذایی به‌طور مرتب هرس گشته و مواد هرس شده به‌عنوان خاک‌پوش در مبارزه با گیاهان هرز، جلوگیری از فرسایش و رواناب کمک کرده و سبب کاهش تبخیر از سطح خاک می‌گردند. شکل ۱۲-۲۰ نشان می‌دهد که نظام چگونه کار می‌کند.

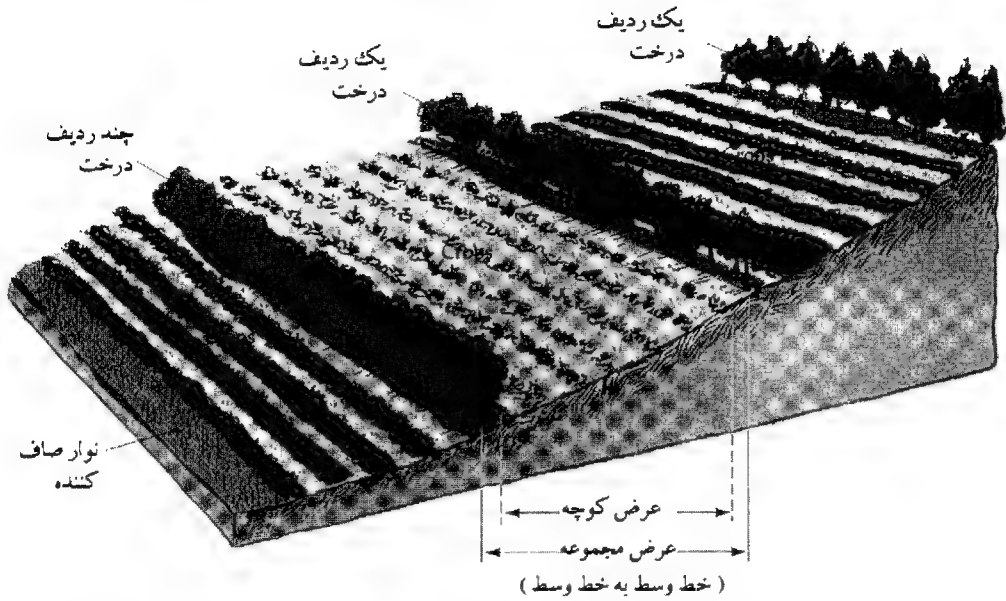
در بعضی مناطق ثابت شده است که کشت کوچه‌ای موفق می‌باشد (جدول ۱۵-۲۰). عملکرد محصولات بدون نیاز به باقی‌ماندن اراضی به‌صورت آیش برای سال‌ها حفظ می‌شود. خاک از فرسایش بیشتر حفظ گشته و کیفیت خاک بهبود می‌یابد (جدول ۱۲-۱۶). اما در اراضی کاملاً غیر حاصلخیز در سایر مناطق نیمه‌مرطوب تا نیمه‌خشک گونه‌های درختی چپ‌بر برای رطوبت و عناصر غذایی با گیاهان غذایی رقابت کرده و در عملکرد تأثیر می‌گذارند. شکل ۱۳-۲۰ مشخص می‌سازد که چگونه رقابت، مؤثر بودن کشت کوچه‌ای را در بعضی مناطق خشک‌تر با حاصلخیزی کمتر تحت تأثیر می‌گذارد. بنابراین، ممکن است کشت کوچه‌ای در بعضی مناطق مفید بوده اما یک جایگزین مناسب برای نظام قطع و سوزاندن در دیگر مناطق نباشد.

^۱ -Mixed tree crop

^۲ -Kandy home gardens

^۳ -Telum

^۴ -Alley cropping



شکل ۱۲-۲۰ کشت کوچه‌ای در عرض شیب که در آن کوچه‌ها را که انواع مختلف محصولات در بین ردیف‌ها (تنها و یا چندتایی) تولید می‌شوند، نشان می‌دهد. ردیف‌ها از بوته‌ها و یا درختان سریع‌الرشد، و ترجیحاً از انواع تثبیت‌کننده‌ی نیتروژن می‌باشند. بعد از برداشت نبات کشت شده، سرشاخه درختان می‌توانند چیده شده، هرس گردیده و پوشش هرس‌شده بر روی منطقه تحت کشت پخش گردد، این سبب تولید ماده‌ی آلی، عناصر غذایی و ممانعت از فرسایش خاک در نبات بعدی می‌گردد. این نظام در بعضی مناطق، که بارندگی هم برای گیاهان کشت شده و هم درختان حاشیه کافی باشد، و در جایی که نیروی کار لازم برای بریدن و پخش سرشاخه‌های پریده شده کافی باشد، امیدوارکننده است.

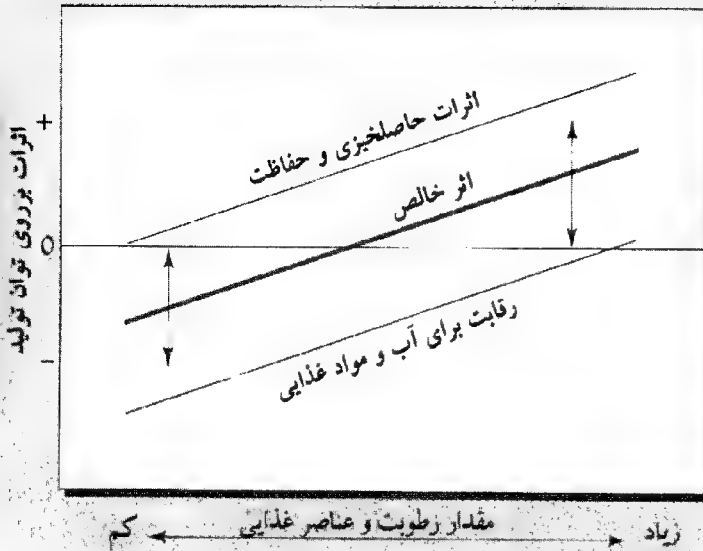
همکاری در بین محققین و کشاورزان، روش‌های موردی اختصاصی را برای بهبود مدیریت نظام‌های کم‌نهاد در آفریقا و دیگر جاها در سراسر جهان آشکار می‌سازد. درحالی که این پیشرفت‌ها در جزییات با هم متفاوتند، تلفیق مناسب نهاده‌ی مواد آلی و معدنی از اجزای اکثر آن‌ها می‌باشد. این امر در اکثر نظام‌های تولید نیز صادق است. نهاده‌های متغیر ماده‌ی آلی که با کودهای غیرشیمیایی مناسب تکمیل گردند، مبنای اساسی را برای افزایش توان تولید و بهبود کیفیت خاک فراهم می‌سازند.

جدول ۱۵-۲۰ عملکرد ذرت طی ۶ سال در آزمایش‌های کشت کوچه‌ای با استفاده از *Leucaena leucocephala* به عنوان چپر در یک خاک *Psammentic Ustorthent* در نیجریه

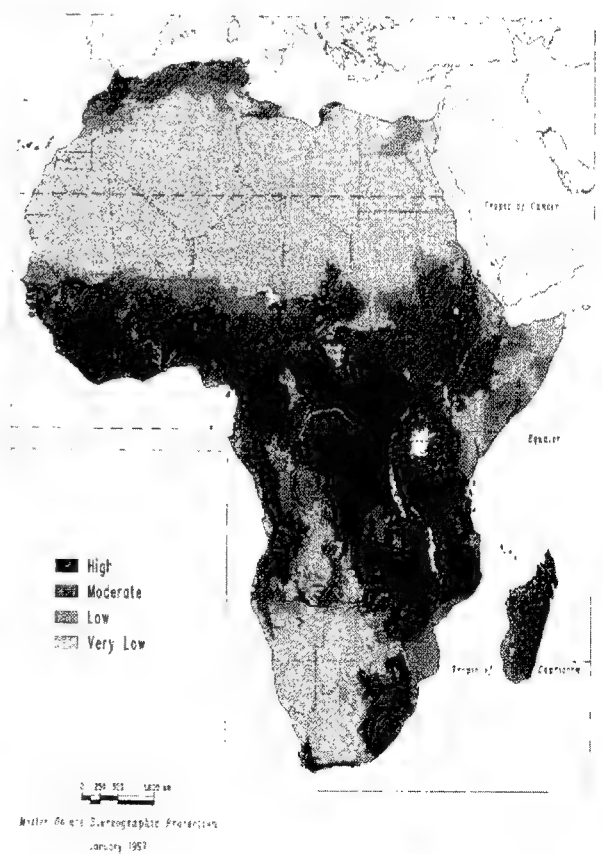
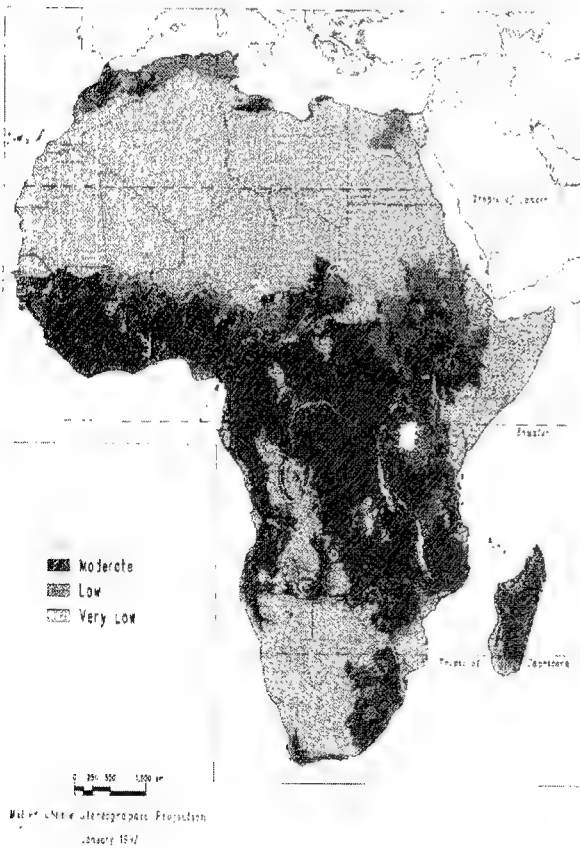
عملکرد ذرت (تن در هکتار)							میزان مصرف (*) kg/ha
۱۹۸۶	۱۹۸۴	۱۹۸۳	۱۹۸۲	۱۹۸۱	۱۹۸۰	۱۹۷۹	
۰/۶۶	۰/۶۹	۰/۲۶	۰/۶۱	۰/۴۸	۱/۰۴	-	خارج گردید
۲/۱۰	۱/۹۹	۱/۹۲	۲/۱	۱/۲۱	۱/۹۱	۲/۱۵	به‌عنوان خاک‌پوش مصرف شد
۳	۳/۶۷	۳/۱۶	۲/۹۱	۱/۸۹	۳/۲۶	۳/۴	به‌عنوان خاک‌پوش مصرف شد

*تمام کورت‌ها P، K، Mg، Zn دریافت داشته‌اند، محصول در خشکسالی ۱۹۸۳ تحت تأثیر قرار گرفت. در سال ۱۹۸۵ زمین آیش بود

ترکیب نهاده‌های آلی و معدنی دارای توان بالایی برای بهبود کیفیت خاک‌ها در آفریقا می‌باشد. شکل ۱۴-۲۰ تشریح کننده توان بسیار پایین اکثر خاک‌های آفریقا است که امروزه مورد استفاده می‌باشند. این شکل، همچنین بیانگر کارمایه بسیار ارتقاء یافته در صورت استفاده مؤثر از ترکیب مناسب مواد آلی و معدنی می‌باشد. مزایای هم‌افزایی حاصل از مصرف توأم این مواد همچنین سبب ارتقای کیفیت خاک‌ها، چه در آفریقا، آسیا، آمریکای لاتین، آمریکای شمالی و یا هر جای دیگر در روی کره‌ی زمین نیز می‌شود.



شکل ۱۳-۲۰ مزایا و موانع در تولید نباتات در نظام‌های کشت کوچه‌ای. خط فوقانی بیانگر اثرات مفید حاصل از چرخه‌ی عناصر و حفاظت خاک است. خط پایین‌تر بیانگر اثرات منفی حاصل از رقابت ردیف‌های درختان حاشیه برای آب و عناصر غذایی است. خط ضخیم مرکزی نشان‌دهنده خالص اثرات می‌باشد، که معمولاً در مناطق مرطوب‌تر با خاک‌هایی دارای میزان عناصر در حد متوسط مثبت است. در مناطق خشک‌تر، و با حاصلخیزی کمتر، رقابت برای آب و عناصر غذایی اغلب سبب کاهش خالص عملکرد نبات می‌شود.



شکل ۱۴-۲۰ پتانسیل استفاده‌ی پایدار کشاورزی از منابع خاک آفریقا با نهاده‌های بسیار اندک مورد استفاده امروزی (سمت چپ). درمقایسه با پتانسیل مشابه در صورت به‌کارگیری نهاده‌های زیاد (سمت راست). توجه کنید که مناطق وسیعی از صحرا، شاخ آفریقا، و جنوب غرب آفریقا عمدتاً به‌علت کمبود آب به‌رغم میزان نهاده‌های شیمیایی، دارای پتانسیل بسیار پایین است. به‌علاوه با میزان نهاده‌های پایین جاری، پایداری کشاورزی دربقیه‌ی مناطق آفریقا پایین و یا حتی بسیار پایین می‌باشد. برعکس، اگر ترکیب معقولی از نهاده‌های آلی و معدنی به‌کار روند، مناطق وسیعی دارای پتانسیل متوسط و یا بالا برای کشاورزی پایدار خواهند بود.

۲۰-۱۱ بهبود کیفیت خاک در آسیا و آمریکای لاتین

قبلاً کاهش کیفیت خاک را در آمریکا، اروپا و شرق آسیا ناشی از تمرکز عملیات کشاورزی و مصرف ضایعات حاصل از صنعت مناطق شهری و کشاورزی مورد تأکید قرار دادیم، همچنین تذکر می‌دهیم که اراضی پرشیب در هر جای جهان در معرض یغمای فرسایش خاک و رسوب‌گذاری همراه آن در اراضی پایین‌دست رودخانه‌ها می‌باشند. عملیات کاربری اراضی، که سبب ایجاد پوشش خاک چه به صورت جنگل‌های طبیعی و علف‌زارها و یا به صورت پس‌مانده‌های حاصل از محصولات برداشت‌شده می‌باشد، باید در بالای فهرست معیارهای نظام پایدار کاربری اراضی قرار گیرند. در بقیه مناطق جهان بعضی مسایل منطقه‌ای وجود دارد که باید مورد اشاره قرار گیرند.

جدول ۱۶-۲۰ تأثیر عملیات حفاظتی و کشت کوچه‌ای با استفاده از دو نیامدار چوبی به عنوان چپر بر روی رواناب و فرسایش خاک در نیجریه

نظام تولید		رواناب، درصد بارندگی		فرسایش خاک (تن در هکتار)	
		ذرت	گاودانه	ذرت	گاودانه
بدون چپر	شخم با عملیات خاک‌ورزی	۱۷	۴/۳	۴/۳	۰/۶۳
	بدون عملیات خاک‌ورزی	۱/۳	۰/۸	۰/۱	۰/۰۳
با چپر	<i>Leucaena</i>	۴/۹	۱/۱	۰/۶	۰/۱۳
	<i>Gliricidia</i>	۴/۳	۰/۷	۰/۶	۰/۰۷

جنوب و جنوب شرقی آسیا

دستاوردهای قابل توجه در تولید محصولات غذایی سه دهه قبل در آسیا بیانگر آن نیست که کاهش کیفیت خاک مسأله‌ی مهمی در این منطقه باشد. متأسفانه، این کاهش صورت گرفته است، اما به علت اثرات مثبت استفاده بیشتر از کودهای شیمیایی و آب آبیاری. پنهان مانده است. عملیات متمرکز کشاورزی همراه با سوزاندن پسماندهای گیاهی اثرات منفی بر مقدار میزان ماده‌ی آلی خاک داشته است. در جنوب آسیا پسماندهای گیاهی و همین‌طور کودهای دامی به صورت سوخت برای مصارف خانگی مصرف شده و یا بقایا به وسیله‌ی حیوانات مصرف می‌گردند. در جنوب شرق آسیا برای خلاص شدن از مزاحمت کاه برنج و گندم که در محل خرمن‌کوبی جمع‌آوری شده‌اند، سوزانده می‌شوند، در هر حال زمین در فاصله کشت عمده‌تاً فاقد پوشش باقی مانده، بنابراین، سبب فراخواندن فرسایش، کاهش در میزان ماده‌ی آلی، و تخریب ساختمان پایدار خاک می‌شود. بیرون زدگی سنگ نیز در اراضی حاصلخیز و پرتولید قبلی اثرات شوم تخریب خاک در بعضی مناطق می‌باشد. اگر قرار است جمعیت فوق‌العاده افزایش یافته آبی در این مناطق تغذیه شوند، نباید اجازه داد که این تخریب‌ها ادامه داشته باشند.

تحقیق نشان داده است که تولید زیستی و کیفیت خاک می‌تواند با تلفیق نهاده‌های ماده‌ی آلی و معدنی در داخل خاک بهبود یابد، هر چند اقداماتی باید انجام داد تا تضمین شود زارعین برای تکمیل کودهای شیمیایی، که قادر به خرید آن می‌باشند، دارای منابع آلی هستند. در بعضی مناطق درخت‌زارهای عمومی هم‌زمان لازم را برای پخت‌وپز فراهم کرده و امکان می‌دهند که پس‌مانده‌های گیاهی در روی زمین باقی بمانند. در دیگر مناطق، کود سبز سبب تأمین ماده‌ی آلی مورد نیاز می‌باشند.

آمریکای جنوبی و مرکزی

ممکن است کاهش کیفیت خاک در این مناطق در آینده در اثر پرنهاده بودن کشاورزی و شدت فرایند فرسایش خاک همچنان تداوم یابد. در مناطق دارای پتانسیل تولید مانند منطقه سرادو برزیل، چالش عمده اجتناب از اشتباهات انجام گرفته در قبل به وسیله‌ی زارعین در آمریکای شمالی و اروپا می‌باشد. چمن‌زارهای بومی به احتمال زیاد زیر کشت آورده خواهند شد اما باید احتیاط لازم به عمل آید که تنها کودهای شیمیایی استعمال نشود، بلکه از تلفیق کودهای آلی و معدنی استفاده گردد. به همین ترتیب از تک‌کشتی باید احتراز جست و از تناوب محصولات باید حداکثر استفاده را به عمل آورد.

باید تا حد امکان از پاک‌کردن اراضی جنگلی برای اهداف کشاورزی نه تنها در حوزه‌ی آمازون بلکه در اکثر مناطق دیگر آمریکای جنوبی و مرکزی احتراز جست. میزان فرسایش در آمریکای مرکزی جزو بیشترین مقادیر در مقیاس جهانی است. اگر کیفیت خاک باید حفظ شود و یا بهبود یابد تغییر خالص کاربری اراضی در اکثر مناطق باید به سمت افزایش اراضی جنگلی نه فزونی بیشتر اراضی کشاورزی باشد. استفاده عاقلانه

از تلفیق مواد آلی و معدنی و همین‌طور توسعه تحت نظام‌های جنگل- زراعی باید سبب افزایش تولیدات مواد غذایی در کشت‌زارهای سابق گردد. حفظ اراضی تپه‌ماهور، و اراضی غیر حاصلخیز به‌صورت جنگل، سبب ایجاد بوم‌سامان‌های پایدار، و در نتیجه حفظ بهبود کیفیت خاک می‌گردد.

۱۲-۲۰ نتیجه‌گیری نهایی

دانشمندان به اتفاق سایر همکاران در دیگر تخصص‌ها، مفهوم کیفیت خاک و یا سلامت خاک را برای کمک به کمی‌کردن عوامل مؤثر و توانایی خاک برای ایفای نقش‌های متعدد ابداع نموده‌اند. مقیاس‌های اصلی این مؤثر بودن عبارتند از ارتقای توان تولید زیستی، کیفیت محیط زیست، سلامت انسان و دام و تنوع زیستی است. فشارهای جمعیت انسانی سبب تأکید بیشتر بر ایفای نقش خاک در ارتقای توان تولید زیستی است. اما اگر قرار است کیفیت خاک افزایش یابد، باید هم‌زمان به ۳ هدف دیگر نیز دست یابیم.

زارعین جهان در نیم‌قرن گذشته تقریباً معجزه کرده‌اند آن‌ها تولید غذا را در مقادیر بالاتر از هر زمان دیگر از تاریخ افزایش داده‌اند، بیشتر از آنچه با افزایش غیر قابل انتظار تعداد جمعیت انسانی تناسب داشته باشد. این افزایش مواد غذایی از پرنهاده‌کردن کشاورزی در اراضی زراعی موجود حاصل شده است. درحالی که کیفیت خاک به‌وسیله‌ی بعضی از این نظام‌های پرنهاده بهبود یافته است، در سایر نظام‌ها سبب تخریب خاک، آب و منابع نیوار شده است.

چالش عمده در مقابل بشر تولید مواد غذایی و رشته‌ای بیشتر در ۴۰ تا ۵۰ سال آتی است، بیشتر از هر آن‌چه است که از آغاز کشاورزی از ۱۰۰۰۰ سال قبل تا حال تولید شده است. انگاره‌ی جدیدی برای تحقق این کار بدون تخریب محیط زیست، به‌خطرافتادن سلامت انسان و دام‌ها و یا کاهش تنوع زیستی لازم می‌باشد. این انگاره نگرشی بوم‌سامانی را برای نظام‌های کشت‌وکار در نظر دارد که بر تعامل توان تولید گیاهان با میزان تولید و وضعیت بهتر تمام موجودات زنده و کیفیت محیط زیست تأکید می‌کند. کیفیت خاک از این تعامل سود برده و به‌نوبه‌ی خود سبب موفقیت آن‌ها خواهد شد.

سوالات برای مطالعه

- ۱- کیفیت خاک و یا سلامت خاک چیست؟ چگونه اندازه‌گیری می‌شود و برای تمام جاندارانی که بر روی آن یا در داخل آن زندگی می‌کنند چه اهمیتی دارد؟
- ۲- چرا کیفیت خاک امروزه بیشتر مورد توجه جامعه است تا ۱۰۰ سال قبل؟
- ۳- چرا جنبه‌ی توان تولید زیستی کیفیت خاک مورد توجه بیشتر انسان‌ها در مقایسه با جنبه‌هایی که با محیط و سلامت انسان و حیوان سروکار دارند، می‌باشد؟ آیا این اولویت تغییر می‌کند؟ چرا؟
- ۴- چه نهاده‌های فناوری علت اصلی افزایش قابل توجه محصولات غذایی و رشته‌ای در سه دهه‌ی قبل در کشورهای در حال توسعه‌ی آسیا و آمریکای لاتین می‌باشد؟ آیا احتمال دارد که این نهاده‌ها در افزایش تولید غذا و پوشاک در ۳۰ سال آینده معنی‌دار باشند؟ چرا و چرا نه؟
- ۵- اثرات مثبت و منفی عملیات پرنهاده کشاورزی در نیم‌قرن گذشته چه بوده‌اند؟
- ۶- چگونه نگرش متحول بوم‌سامان در تولید محصول با کشت باصرفه کوتاه‌مدت که در گذشته وجود داشت متفاوت است؟ کدام نگرش دارای اثرات مثبت‌تری بر کیفیت و یا سلامت خاک می‌باشد و چرا؟
- ۷- بعضی از تغییرات لازم در مدیریت عناصر غذایی در نظام‌های تولید پرنهاده، که برای بهبود توان تولید خاک و پایداری کشاورزی و ارتقای کیفیت خاک لازم است چه می‌باشند؟
- ۸- آفریقا تنها منطقه‌ی عمده در جهان است که در آن تولید سرانه‌ی غذا در سه دهه‌ی گذشته کاهش یافته است. دلایل این وضعیت چیست، چه اقدامات عمده‌ای برای تغییر آن باید معمول داشت؟
- ۹- کشاورزی جای‌گردان چیست؟ چگونه استفاده از آن در بسیاری از مناطق سبب کاهش کیفیت خاک شده است، چند جایگزین مناسب آن‌ها کدام‌ها می‌باشند؟
- ۱۰- در کدام مناطق جهان کاهش کیفیت خاک بسیار شدید است؟

فهرست معانی واژه‌های خاک‌شناسی

A horizon - افق A: افق سطحی یک خاک معدنی که دارای بیشترین تراکم ماده‌ی آلی، فعالیت زیستی و/ یا آبشویی موادی مانند هیدراکسیدهای آهن و آلومینیوم و رس‌های سیلیکاتی باشد.

abiotic - غیرزنده: عناصر اصلی غیرزنده محیط مانند بارندگی، دما، باد، و کانی‌ها می‌باشد.

absorption , active - جذب فعال: حرکت یون‌ها و آب به‌داخل ریشه‌ی گیاهان بر اثر فرایندهای سوخت‌وساز ریشه، که اغلب در مقابل یک شیب فعالیت انجام می‌شود.

absorption , passive - جذب غیرفعال: حرکت یون‌ها و آب به‌داخل ریشه‌ی گیاهان در نتیجه انتشار در شیب غلظت می‌باشد.

Accelerated erosion - فرسایش شتابی: erosion را مشاهده کنید.

acid rain - باران‌های اسیدی: بارش‌های جوی با مقادیر pH کمتر از ۵/۶، اسیدیته به دلیل انتشار اکسیدهای نیتروژن و گوگرد به‌داخل جو و تشکیل اسیدهای معدنی مانند اسید نیتریک و اسید سولفوریک می‌باشد.

acid soil - خاک اسیدی: خاکی که با pH کمتر از ۷، معمولاً در مورد لایه سطحی و یا منطقه ریشه کاربرد دارد، اما ممکن است برای مشخص کردن هر افق نیز به کار رود. واژه‌های soil , reaction را نیز مشاهده کنید.

acid sulfate soil - خاک‌های اسید سولفات: خاک‌هایی که دارای توان شدید اسیدی ($pH < 3/5$) به دلیل مقادیر زیاد اشکال احیاشده گوگرد می‌باشند که در صورت مواجه شدن با اکسیژن هنگام زه‌کشی و یا حفاری اکسید شده و به اسید سولفوریک تبدیل می‌شوند. یک افق سولفوریک که دارای کانی‌های زرد رنگ جاروسیت $K_2 Fe_6 (SO_4)_4 (OH)_{12}$ می‌باشد معمولاً در این خاک‌ها وجود دارد. Cat clays را نیز مشاهده کنید.

acidity , active - اسیدیته فعال: فعالیت یون هیدروژن در فاز محلول خاک که به‌صورت pH اندازه‌گیری و بیان می‌شود.

acidity , residual - اسیدیته باقی‌مانده: اسیدیته خاک که بتوان آن را با آهک و یا سایر مواد قلیایی خنثی کرد. اما نمی‌تواند به‌وسیله‌ی یک محلول نمک غیربافر جایگزین گردد.

acidity , salt replaceable - اسیدیته قابل تبادل: هیدروژن و آلومینیوم قابل تبادل از یک خاک اسیدی به‌وسیله‌ی یک محلول نمک غیربافر مانند NaCl و یا KCl

acidity , total - اسیدیته کل: اسیدیته کل یک خاک. که به‌طور تقریب شامل مجموع اسیدیته قابل تبادل به‌وسیله‌ی نمک و اسیدیته باقی‌مانده می‌باشد
actinomycetes اکتینومیسیت: گروهی از موجودات زنده در حد فاصل باکتری‌ها و قارچ‌های واقعی که ریشه‌های منشعب خاص ایجاد می‌کنند. شامل بسیاری از موجودات زنده متعلق به رده Actinomycetales می‌باشند.

activated sludge - لجن فعال‌شده: لجن فاضلاب که در معرض هوا و فعالیت میکروبی قرار گرفته است.

active layer - لایه‌ی فعال: لایه‌ی فوقانی یک خاک Gelisol که در معرض یخ‌زدن و ذوب یخ قرار دارد و در زیر آن یخ‌بندان دائم وجود دارد.

active organic matter - ماده‌ی آلی فعال: بخشی از ماده‌ی آلی که به آسانی مورد سوخت‌وساز میکروبی قرار گرفته و دارای نصف عمری در حدود چند روز یا چند سال در چرخه‌ی داخل خاک می‌باشد.

adhesion - دگرچسبی (چسبندگی): نیروی جاذبه‌ی مولکولی که باعث ارتباط سطوح دو ماده (برای نمونه آب و ذرات شن) می‌شود.

adsorption - جذب سطحی: جذب یون‌ها و یا مولکول‌ها به سطح یک ماده‌ی جامد. کلوییدهای خاک مقدار زیادی یون و آب جذب می‌کنند

adsorption complex - هم‌تافت جذب: گروهی از مواد آلی و معدنی که دارای قابلیت جذب یون‌ها و مولکول‌ها می‌باشند.

aerate - مملو از گازها، معمولاً هوا

aeration , soil - تهویه‌ی خاک: فرایندی که در آن هوای خاک با هوای نیوار جایگزین می‌شود. در خاک‌های دارای تهویه خوب ترکیب هوای خاک مشابه جو بالای خاک است خاک‌های دارای تهویه ناقص معمولاً دارای گازکربنیک بیشتر و در نتیجه اکسیژن کمتری از جو بالای خود می‌باشند.

aerobic - هوازی: ۱- دربرداشتن اکسیژن مولکولی به‌عنوان بخشی از محیط. ۲- رشد و نمو تنها در حضور اکسیژن مولکولی، مانند یک موجود هوازی
۳- وقوع فقط در حضور اکسیژن مولکولی (فرایندهای مخصوص شیمیایی و یا زیست‌شیمیایی، مانند تجزیه هوازی)

aerosolic dust - گردوغبار معلق در هوا: نوعی از مواد بادرفت که بسیار ریز بوده (۱ تا ۱۰ میکرون) و ممکن است به‌صورت تعلیق در هوا در طول هزاران کیلومتر انتقال، به‌صورت معلق باقی بمانند. از اکثر Loess ها ریزتر می‌باشند.

aggregate (soil) - خاکدانه (خاک): تعداد زیادی از ذرات خاک که در یک توده و یا خوشه مانند کلوخه، قطعه اسفنجی، مکعب و یا منشوری قرار گرفته‌اند.

agric horizon - افق زراعی: به **diagnostic subsurface horizons** مراجعه کنید.

agronomy زراعت: یک بحث تخصصی از کشاورزی که در ارتباط با نظریه و عمل تولید گیاهان زراعی و مدیریت خاک است. به مدیریت علمی اراضی نیز اطلاق می‌شود.

air-dry - هوا خشک: ۱- وضعیت خشکی (خاک) در تعادل با میزان رطوبت جو اطراف. میزان رطوبت واقعی در ارتباط با میزان رطوبت نسبی و دمای جو اطراف می‌باشد. ۲- امکان رسیدن به تعادل با میزان رطوبت جو اطراف

air porosity تخلخل تهویه ای: بخشی از حجم کل خاک که به‌وسیله‌ی هوا در هر زمان و یا شرایط مانند پتانسیل رطوبت خاص اشغال می‌شود، معمولاً شامل حجم منافذ درشت خاک است.

albic horizon - افق البیک: به **diagnostic subsurface horizons** مراجعه کنید

Alfisols - رده‌ی الفی سول: به **soil classification** مراجعه کنید.

algal bloom طغیان جلبک: انفجار جمعیت جلبک‌ها در آب‌های سطحی مانند دریاچه‌ها و رودخانه‌ها که اغلب سبب گل آلودگی و رنگ سبز و قرمز در آب می‌شود، که معمولاً ناشی از غنی‌شدن آب در اثر عناصر غذایی فسفر و نیتروژن می‌باشد.

alkali soil - (واژه‌ی منسوخ) خاک‌های قلیا: خاک‌هایی دارای مقادیر کافی قلیا (سدیم) که در رشد اکثر گیاهان زراعی رکود ایجاد می‌کند. به واژه‌های **sodic soil**, **saline** - **sodic soil** مراجعه کنید.

alkaline soil - خاک‌های قلیایی: خاکی که دارای pH بیشتر از هفت بوده و معمولاً در لایه سطحی و یا منطقه ریشه استعمال می‌شود اما ممکن است برای مشخص کردن یک افق و یا نمونه خاک نیز مصرف شود. واژه **soil reaction** را مشاهده کنید.

allelochemical - دگرآزاری شیمیایی: یک ماده‌ی آلی شیمیایی که به‌وسیله‌ی آن گیاهی می‌تواند بر گیاه دیگر تأثیر بگذارد. **allelopathy** را مشاهده کنید.

allelopathy - دگرآزاری، برهم‌کنش: فرایندی که به‌وسیله‌ی آن گیاهی از طریق مواد شیمیایی فعال زیستی رهاسده در خاک چه از طریق ترشحات منظم و یا از طریق پس‌مانده‌های گیاهی در گیاه دیگر مؤثر باشد. گرچه اثرات اغلب منفی هستند اما می‌توانند مثبت هم باشد.

allophane - آلوфан: یک کانی سیلیکات آلومینیوم نامشخص که چهارچوب ساختمانی آن از مجموعه ضعیف بلورهای سه‌بُعدی که با مواد غیربلوری پُر شده‌اند تشکیل گردیده است. با همراه خیلی هوازه خود در مواد خاکسترهای آتشفشانی به وفور وجود دارند.

alluvial fan - آبرفت بادبزنی: رسوبات بادبزنی شکل که در دهانه‌ی یک دره و یا خندق بزرگ هنگام پخش آب‌های حاوی رسوبات و جای‌گذاری مواد ایجاد می‌شود.

alluvial soil - (واژه‌ی منسوخ) خاک‌های آبرفتی: خاکی که از مواد آبرفتی تازه ترسیب‌شده ایجاد می‌شود و اساساً هیچ نوع تشکیل افق و یا تغییراتی را در این مواد تازه رسوب‌یافته به نمایش نمی‌گذارند.

alluvium - آبرفت: واژه‌ی عمومی برای مواد فرسایشی که به‌وسیله‌ی رود ترسیب یافته و یا در انتقال می‌باشند، این مواد شامل سنگ‌ریزه، شن، لای، رس و مخلوط‌های متفاوتی از آن‌ها می‌باشند. این مواد تحکیم نیافته‌اند، مگر این‌که از قبل بیان گردد.

alpha particle - ذرات α : ذرات دارای بار مثبت (شامل دو پروتون و دو نوترون) که به‌وسیله‌ی ترکیبات خاص دارای مواد پرتوزا انتشار می‌یابند.

aluminosilicates - سیلیکات‌های آلومینیومی: ترکیباتی که دارای آلومینیوم، سیلیس و اکسیژن به‌عنوان اجزای اصلی می‌باشند. مانند میکروکلین KAlSi_3O_8

amendment, **soil** - مواد اصلاح‌کننده‌ی خاک: هر ماده‌ای غیر از کودها مانند آهک، گوگرد، گچ و خاک اوره که برای تغییر خصوصیات شیمیایی و یا فیزیکی خاک‌ها و معمولاً برای ایجاد توان تولید بیشتر در آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

amino acids - اسید آمینه‌ها: اسیدهای آلی حاوی نیتروژن که برای ایجاد پروتئین در هم ادغام می‌شوند. هر مولکول اسید شامل یک و یا چند گروه آمین ($-\text{NH}_2$) و حداقل یک گروه کربوکسیل ($-\text{COOH}$) است. به‌علاوه بعضی اسید آمینه‌ها دارای گوگرد می‌باشند.

ammonification - آمونیاکی‌شدن: فرایند زیست شیمی که در آن نیتروژن آمونیاکی از ترکیبات حاوی نیتروژن ایجاد می‌شود

- ammonium fixation** – تثبیت آمونیوم: محبوس شدن یون‌های آمونیوم به وسیله بخش‌های آلی و معدنی خاک در اشکالی که در آب محلول نبوده و حداقل در بعضی مواقع غیرقابل تبادل نیز می‌باشند.
- amorphous material** – مواد بی‌شکل: بخش غیربلوری خاک‌ها.
- anaerobic** – غیرهوازی: ۱- بدون اکسیژن مولکولی. ۲- زندگی و یا ایفای نقش در غیاب هوا و یا اکسیژن آزاد.
- andic properties** – خصوصیات اندیک: خصوصیات خاک که مربوط به منشأ مواد آذرین است، که شامل میزان کربن آلی زیاد، وزن مخصوص ظاهری کم، نگهداری فسفات زیاد و آهن و آلومینیوم قابل عصاره‌گیری می‌باشد.
- Andisols** – رده‌ی اندی‌سول: به soil classification مراجعه کنید.
- angle of repose** – زاویه‌ی قرار: بیشینه تندی شیب که در آن مواد سست، غیرچسبیده استقرار یافته‌اند.
- anion** – آنیون: یون دارای بار منفی که در اثنای الکترولیز به آند دارای بار مثبت جذب می‌شود.
- anion exchange** – تبادل آنیونی: تبادل آنیون‌های موجود در خاک با آنیون‌های جذب شده بر روی سطوح ذرات رس و هموس می‌باشد.
- anion exchange capacity** – ظرفیت تبادل آنیونی: جمع کل آنیون‌هایی که یک خاک می‌تواند جذب کند. بر حسب سانتی‌مول بار در کیلوگرم (cmolc/kg) خاک (و یا دیگر سطوح جذب کننده مانند رس) بیان می‌شود.
- anoxic** – غیرهوازی: واژه‌ی anerobic را مشاهده کنید.
- anthropic epipedon** – افق سطحی انسانی: به diagnostic surface horizons مراجعه کنید.
- antibiotic** – آنتی بیوتیک: ماده‌ای که به وسیله یک گونه جاندار تولید می‌شود، در غلظت‌های کم سبب کشته‌شدن و یا توقف رشد جانداران به‌خصوص دیگر می‌شود.
- Ap** – افق شخم: افق سطحی یک خاک که به وسیله کشت‌وکار و یا مرتع‌داری دستخوش تغییر قرار می‌گیرد.
- apatite** – آپاتیت: ترکیبی از فسفات کلسیم که در طبیعت یافت شده و منبع اولیه‌ی اکثر کودهای شیمیایی فسفردار می‌باشد، فرمول‌های چون $Ca_3(PO_4)_2$, CaF_2 بیانگر ترکیبات تشکیل دهنده آپاتیت می‌باشد.
- aquic conditions** – شرایط اشباع: اشباع دائم و یا موقت (با آب) و احیا، که معمولاً به وسیله‌ی چهره‌های احيایی در خاک مشخص می‌شوند.
- aquiclude** – یک لایه سنگ و یا خاک اشباع که در شرایط معمول فشاری نمی‌تواند مقدار قابل توجهی آب را انتقال دهد.
- aquifer** – آبخوان: یک لایه سنگ و یا خاک اشباع نفوذپذیر که می‌تواند مقادیر قابل توجهی آب را در فشار معمول انتقال دهد.
- arbuscule** – اربسکول: یک ساختار خاص اشنمایی که در داخل یک پاخته سطحی ریشه به وسیله‌ی قارچ-ریشه‌های داخلی ایجاد می‌شود.
- argillan** – لایه‌ی رسی: یک پوشش نازک بر روی خاکدانه‌ها، ذرات و یا منافذ خاک به وسیله‌ی لایه‌ی نازک رسی.
- argillic horizon** – افق ارچلیک: به diagnostic subsurface horizons مراجعه شود.
- arid climate** – اقلیم خشک: اقلیم مناطقی که فاقد رطوبت کافی برای تولید محصولات بدون آبیاری می‌باشند. در مناطق سرد بارندگی معمولاً کمتر از ۲۵ سانتی‌متر است. در مناطق گرمسیر این رقم ممکن است به ۵۰ سانتی‌متر برسد. پوشش طبیعی آن‌ها بوته‌های بیابانی است.
- aridisols** – اریدی‌سول: به soil classification مراجعه کنید.
- aspect (of slopes)** – جبهه‌ی شیب: جهت (برای مثال جنوب یا شمال) یک شیب که با آفتاب مواجه می‌شود.
- association, soil** – خاک مجموعه: به soil association مراجعه کنید.
- Atterberg limits** – حدود اتربرگ: میزان آب در خاک‌های بافت ریز در مراحل مختلف پایداری خاک.
- (PL) plastic limit** – حد شکل‌پذیری: میزان آب در ارتباط باحد فرضی بین حالت شکل‌پذیری و حالت نیمه‌جامد.
- (LL) liquid limit** – حد روانی: میزان آب در ارتباط با حد فرضی بین حالت روانی و شکل‌پذیری.
- autochthonous organisms** – جانداران بومی: ریز جاندارانی که به‌نظر می‌رسد بر روی مواد آلی مقاوم زندگی کرده و کمتر تحت تأثیر مواد آلی تازه افزوده شده به خاک قرار می‌گیرند. متضاد جانداران zymogenous می‌باشند.

autotroph – خودپرور: جاننداری که قادر است از گازکربنیک و یا کربنات‌ها به‌عنوان تنها منبع کربن استفاده کرده و انرژی خود را برای انجام فرایندهای حیاتی از اکسایش عناصر معدنی و یا ترکیباتی مانند آهن، گوگرد، هیدروژن، آلومینیوم و یا از انرژی تابشی به‌دست می‌آورند. متضاد آن heterotroph می‌باشد.

available nutrient – عناصر غذایی قابل استفاده: آن بخش از عناصر و یا ترکیبات غذایی در خاک که بتواند به‌طور آسان به‌وسیله گیاهان جذب و همضم گردد. واژه‌ی «available» نباید با واژه‌ی «exchangeable» اشتباه شود.

available water – آب قابل استفاده: بخشی از آب خاک که بتواند به آسانی به‌وسیله ریشه‌های گیاه جذب شود. مقدار آب آزادشده بین FC و PWP می‌باشد.

B horizon – افق B: افقی از خاک که معمولاً در زیر افق A قرار گرفته و به‌وسیله یک یا چند خاصه‌ی زیر مشخص می‌شود: ۱- تراکم رس‌های سیلیکاتی، اکسیدهای آهن و آلومینیوم و هموس به‌تنهایی، یا با هم، ۲- ساختمان مکعبی و یا منشوری؛ و ۳- پوشش اکسیدهای آهن و آلومینیوم که سبب ایجاد رنگ تیره‌تر، قوی‌تر و یا قرمزتر می‌شود.

bar – بار: واحد فشار معادل یک میلیون دین در سانتی‌متر مربع (10^6 باری). این واحد به‌طور تقریبی معادل فشار جو است.

base forming cations – کاتیون‌های بازساز: کاتیون‌هایی که سبب ایجاد بازهای قوی (بازهایی که به شدت تفکیک می‌گردند) در واکنش با هیدراکسیل می‌شوند؛ برای مثال، K^+ ایجاد هیدراکسید پتاسیم می‌کند (KOH).

base saturation percentage – درصد اشباع بازی: میزان اشباع همتافت جذبی خاک با کاتیون‌های قابل تبادل به غیر از هیدروژن، و آلومینیوم. به صورت درصدی از کل تبادل کاتیونی بیان می‌شود.

BC soil – خاک BC: پروفیلی از خاک با افق‌های B، C اما بدون افق A. و یا با افق ضعیف A اکثر خاک‌هایی BC افق A خود را در اثر فرسایش از دست داده‌اند.

bedding – (واژه‌ی مهندسی) پشته‌سازی: تنظیم سطح مزارع به‌وسیله شخم و تسطیح به مجموعه‌ای از پشته‌های مرتفع که به‌وسیله گودی‌های کم‌عمق و یا نهرهایی به‌منظور زه‌کشی سطحی از همدیگر جدا می‌شوند.

bed rock – سنگ بستر: سنگ صلب که در زیر خاک‌ها و رگولیت با عمق صفر (به‌وسیله فرسایش آشکار شده) تا چندین متر قرار گرفته است.

bench terrace – تراس سکویی: یک پشته که در عرض مزارع شیب‌دار با ایجاد یک افت شدید ارتفاع در پایین‌دست شیب ایجاد می‌شود.

beta particle – ذرات β : الکترون سریع انتشار یافته در اثر تجزیه‌ی مواد پرتوزا.

bioaccumulation – تراکم زیستی: تجمع ترکیبات خاص در جانداران خاص به علت فرایندهای زیستی. معمولاً در مورد فلزات سنگین، آفت‌کش‌ها و یا مواد سوخت‌وساز کاربرد دارد.

biodegradable قابل تخریب زیستی: در معرض تخریب به‌وسیله فرایندهای زیست شیمی.

biomass – زیئوده: جرم کل موجودات زنده از یک نوع خاص (برای مثال زیئوده‌ی میکروبی) در یک محیط مورد نظر مثلاً در یک مترمکعب خاک.

biopores – منافذ زیستی: منافذ خاک که معمولاً بزرگ بوده و به‌وسیله ریشه‌ی نباتات، کرم‌های خاکی و یا سایر جانداران خاک ایجاد می‌شوند.

bioremediation – پالایش زیستی: رفع آلودگی و یا مرمت خاک‌های آلوده و تخریب شده به‌وسیله ارتقای تجزیه و تخریب زیستی و یا سایر فعالیت‌های ریزجانداران خاک.

biosequence – توالی زیستی: گروهی از خاک‌های مورد نظر که اساساً بر اثر اختلافاتی از نظر انواع و تعداد گیاهان و موجودات زنده خاک به‌عنوان عوامل خاک‌سازی با همدیگر متفاوت می‌باشد.

biosolids – مواد جامد زیستی: به sewage sludge مراجعه کنید.

bleicherde – (واژه‌ی منسوخ) لایه آیشویی شده: افق (E) A2 آیشویی شده با رنگ روشن در خاک‌های اسپدوسول

blocky soil structure – ساختمان مکعبی: خاکدانه‌ها با شکل مکعبی که معمولاً در افق B خاک‌های مناطق مرطوب یافت می‌شوند.

blown – out land – اراضی بادرفته: اراضی که تمام یا قسمت اعظم خاک آن‌ها بر اثر فرسایش بادی برداشت شده است. معمولاً برای تولید محصولات مناسب نمی‌باشند. تپ اراضی متفرقه.

border-strip irrigation – آبیاری نواری: به irrigation methods مراجعه کنید

bottom land – اراضی گود: به flood plain مراجعه کنید.

breccia – برش: سنگی که از قطعات زاویه‌دار درشت به وسیله سیمانی به همدیگر چسبیده‌اند.

broad-base terrace – تراس پایه پهن: یک پشته کم‌ارتفاع با شیب‌های آرام که بتواند مورد کشت و کار قرار گیرد، در عرض مزارع شیب‌دار برای کاهش فرسایش و رواناب ایجاد می‌شود.

broadcast پخش سطحی: پخش بذرو یا کود شیمیایی در سطح خاک

buffering capacity – ظرفیت جبران: توانایی یک خاک در مقابله با تغییرات pH. این ظرفیت معمولاً با توجه به مقدار رس، هموس و سایر مواد کلوییدی تعیین می‌شود.

bulk blending – کود مخلوط: مخلوط کردن مواد گرده‌دانه‌های جداگانه‌ی کودهای شیمیایی خشک برای ایجاد کود مخلوط و مصرف سریع در خاک.

bulk density, soil – وزن مخصوص ظاهری، خاک: جرم خاک خشک در واحد حجم کل که شامل هوا نیز می‌باشد. حجم کل قبل از خشک شدن خاک در کوره در دمای ۱۰۵ و ثبات وزن تعیین می‌گردد.

burried soil – خاک مدفون: خاکی که به وسیله رسوبات آبرفتی، بادرفتی و یا سایر رسوبات معمولاً در عمقی بیشتر از ضخامت سولوم مدفون شده باشد.

by – pass flow – جریان برگشتی: به preferential flow مراجعه کنید.

C horizon – افق C: افق معدنی معمولاً در زیر سولوم که تحت تأثیر فعالیت زیستی و خاک‌سازی قرار نگرفته و فاقد خصوصیات تشخیصی افق A و B می‌باشد. ممکن است شبیه موادی باشد که افق از آن تشکیل گردیده و یا ممکن است شبیه نباشد.

calcareous soil – خاک آهکی: خاکی که دارای مقادیر کافی کربنات کلسیم (اغلب همراه با کربنات منیزیم) بوده و هنگام ریختن اسید کلریدریک سرد ۰/۱ نرمال به‌طور آشکار ایجاد جوشش کند.

calcic horizon – افق کلسیک: به diagnostic subsurface horizons مراجعه کنید.

caliche – کالیچی: افقی در نزدیکی سطح خاک که کم و بیش به وسیله ی کربنات‌های ثانویه کلسیم و منیزیم ترسیب شده از محلول خاک سیمانی شده باشد. ممکن است به‌صورت افق نازک نرم، بستری سخت و ضخیم درست در زیر سولوم و یا افق سطحی ظاهر شده بر اثر فرسایش مشاهده گردد.

cambic horizon – افق کمبیک: به diagnostic subsurface مراجعه کنید.

capillary conductivity – (واژهی منسوخ) آب‌گذری موینیگی: به hydraulic conductivity مراجعه کنید.

capillary fringe – حاشیه موینیگی: ناحیه‌ای از خاک درست در صفحه‌ی فشار آب صفر (سطح ایستایی) که اشباع یا تقریباً اشباع از آب باقی می‌ماند.

capillary water – آب مویینه: آبی که در لوله‌های مویین یا کوچک خاک با مکش بیشتر از معادل ۶۰ سانتی‌متر آب نگهداری می‌شود به soil water potential, moisture potential نیز مراجعه کنید.

carbon cycle – چرخه‌ی کربن: توالی تغییر اشکال تثبیت اکسید کربن در یک موجود زنده به وسیله سوخت‌وساز نوری و یا شیمی ساخت، رها شدن اکسید کربن بر اثر تنفس و یا با مرگ و تجزیه موجودات تثبیت‌کننده‌ی آن، استفاده به وسیله گونه‌های ناخودپرور و نهایتاً برگشت آن به حالت اولیه می‌باشد.

carbon / nitrogen ratio – نسبت C/N: نسبت وزن کربن آلی (C) به وزن کل (N) در خاک و یا ماده‌ی آلی:

carnivore – گوشت‌خوار: موجوداتی که از حیوانات تغذیه می‌کنند.

casts, earthworm – خاکدانه‌های کرم خاکی: خاکدانه‌های گرد پایدار در آب که از روده‌ی کرم‌های خاکی عبور کرده است.

cat clays – کت کلی: خاک‌های مرطوب رسی که دارای مقادیر زیاد اشکال احيایی گوگرد می‌باشند، بدنبال زه‌کشی به‌دلیل اکسایش ترکیبات گوگرد و تشکیل اسید سولفوریک شدیداً اسیدی می‌شوند. معمولاً در مرداب‌های جزر و مدی یافت می‌شوند. به خاک‌های acid sulfate مراجعه کنید.

catena – توالی خاک‌ها: توالی خاک‌های دارای سن تقریباً یکسان که از مواد مادری یکسان در شرایط اقلیمی مشابه منشأ گرفته، اما به‌دلیل اختلاف در پستی و بلندی و زه‌کشی دارای خصوصیات متفاوت می‌باشند.

cation – کاتیون: ین دارای بار مثبت که در الکترولیز به کاتد دارای باری منفی جذب می‌شود.

cation exchange – تبادل کاتیونی: مبادله‌ی کاتیون موجود در محلول با کاتیون دیگر در سطح مواد دارای سطوح فعال مانند رس‌ها و ماده‌ی آلی می‌باشد.

- cation exchange capacity** - ظرفیت تبادل کاتیونی: جمع کل کاتیون‌های قابل تبادل که یک خاک می‌تواند جذب کند. بعضی مواقع ظرفیت کل تبادل، ظرفیت تبادل بازاها، و ظرفیت جذب کاتیون‌هایی نامیده می‌شود. که بر حسب سانتی‌مول بار در کیلوگرم (cmol/kg) خاک (و یا سایر مواد جذب کننده مانند رس) بیان می‌گردد.
- cemented** - سیمانی شده: مواد سخت شده دارای پایداری، اما خرد شونده، زیرا ذرات به وسیله‌ی مواد سیمانی مانند هوموس، کربنات کلسیم و یا اکسیدهای آهن و آلومینیوم و سیلیس به همدیگر اتصال یافته‌اند.
- channery** کفه سنگ - قطعات صاف نازک سنگ آهک، ماسه سنگ و یا شیست با ۱۵ سانتی‌متر در بزرگترین بعد.
- chelate** - کیلات (در یونانی به معنی پنجه) یک نوع ترکیب شیمیایی که در آن یک ین فلزی به‌طور محکم با یک مولکول آلی به‌وسیله‌ی پیوندهای چندگانه شیمیایی ترکیب یافته است.
- chert** - چرت: یک شکل بدون ساختمان سیلیس که در ارتباط نزدیک با سنگ چخماق می‌باشد و به قطعات زاویه‌دار خرد می‌شود.
- chisel, subsoil** اسکنه‌ی زیرزمینی: یک وسیله‌ی خاک‌ورزی با یک یا چند بازو که بر روی آن‌ها واحدهای چاقو مانند (اسکنه) برای باز و سست کردن لایه‌های متراکم سخت معمولاً در زیرزمین در عمقی پایین‌تر از عمق عادی شخم، نصب گردیده است.
- chlorite** - کلریت: یک نوع رس سیلیکاتی لایه‌لایه‌ای ۱:۱ که در آن لایه‌های ۱:۲ در تناوب با یک صفحه اکتاهیدرال متیزم قرار می‌گیرند.
- chlorosis** - زرد شدن: شرایطی از نبات در ارتباط با عدم موفقیت در سبزینه‌سازی (ماده‌ی سبز رنگ). رنگ برگ‌های دارای کلروز از سبز روشن تا زرد و تقریباً سفید متغیر است.
- Chroma (Color)** - رنگی بودن: به Munsell color system مراجعه کنید.
- chronosequence** - خاک ردیف زمانی: توالی خاک‌های مورد نظر که از یکدیگر در خصوصیات خاص، اساساً در نتیجه‌ی زمان به‌عنوان عامل تشکیل خاک متفاوت می‌باشند.
- class soil** - کلاس خاک: گروهی از خاک‌ها که دارای دامنه‌ی مشخصی از خصوصیات خاص مانند اسیدیته، درجه‌ی شیب، بافت، ساختمان، نوع کاربری، درجه‌ی فرسایش و یا زه‌کشی می‌باشند. به soil texture, soil structure نیز مراجعه کنند.
- classification, soil** - طبقه‌بندی خاک: به soil classification مراجعه کنند.
- clastic** - تخریبی: مواد مرکب از قطعات خرد شده‌ی سنگ‌ها و کانی‌ها.
- clay** - رس: (۱) یکی از اجزای خاک که از مواد با قطر معادل کمتر از ۰/۰۰۲ میلی‌متر تشکیل شده، (۲) یک نوع بافت خاک که دارای ۴۰٪ در صد رس و ۴۵٪ در صد شن و ۴۵٪ در صد لای می‌باشد.
- clay mineral** - کانی رسی: مواد معدنی که به‌طور طبیعی (معمولاً به‌صورت بلوری) در خاک‌ها و سایر رسوبات زمینی طبیعی یافت می‌شوند، ذرات در اندازه‌ی رس بوده و دارای قطر کمتر از ۰/۰۰۲ میلی‌متر می‌باشند.
- clay pan** - سخت لایه‌ی رسی: یک لایه‌ی سنگین متراکم با نفوذپذیری کم در خاک تحت‌الارض که دارای رس بسیار بیشتری از لایه‌های فوقانی بوده و از آن به‌وسیله‌ی یک مرز مشخص نیز جدا می‌شود، سخت لایه‌های رسی وقتی خشک هستند معمولاً سخت و در حالت مرطوب، شکل‌پذیر و چسبنده می‌باشند به hard pan نیز مراجعه کنید.
- clod** - کلوخه: یک توده‌ی متراکم چسبنده از خاک که به‌طور مصنوعی معمولاً بر اثر فعالیت انسانی مانند شخم‌زدن و حفاری ایجاد شده است. به‌خصوص این کارها وقتی انجام شوند که خاک‌ها برای انجام عملیات معمول خاک‌ورزی خیلی مرطوب و یا خیلی خشک باشند.
- coarse texture** - بافت درشت: بافت خاک که در شن‌ها، شن‌های لومی، لوم‌های شنی (به‌استثنای لوم‌شنی خیلی ریز) به نمایش گذاشته می‌شود.
- cobbelstone** - قلوه‌سنگ: سنگ‌ها و یا قطعات کانی که کاملاً گرد یا نسبتاً گرد بوده و دارای قطر ۲۵-۷/۵ سانتی‌متر می‌باشند.
- cohesion** - هم‌چسبی: نیرویی که مواد جامد و یا مایع را به‌خاطر جاذبه بین مولکول‌های مشابه در اتصال با هم قرار می‌دهد. با افزایش دما این نیرو کاهش می‌یابد.
- collapsible soil** - خاک وارونده: خاکی که هنگام مرطوب شدن دچار کاهش نیروی مقاومت می‌شود.
- colloid, soil** - کلوئید خاک: (یونانی به معنی چسب‌مانند) مواد آلی یا معدنی با اندازه‌ی ذرات بسیار کوچک و در نتیجه سطح بسیار گسترده در واحد جرم.
- colluvium** - کوه‌رفت، واریزه: واریزه قطعات سنگ و خاک که در پایه شیب‌های تند به‌دلیل عمل ثقل تجمع می‌یابند.
- color** - رنگ: خصوصیت یک جسم که در ارتباط با طول موجی است که منعکس نموده و یا انتشار می‌دهد.

- columnar soil structure** - ساختمان ستونی : به soil structure types مراجعه کنید.
- companion planting** - کشت همراه : عملیات کشت گونه‌های خاصی از گیاهان در ارتباط نزدیک با هم، زیرا یک گونه دارای اثرات بهبود رشد برگونه‌ی دیگر می‌باشد، بعضی مواقع بهبود رشد به علت اثرات مثبت برهم‌کنش می‌باشد.
- compost** - کمپوست : پس‌مانده‌های گیاهی و یا مخلوطی از پس‌مانده‌های آلی و خاک که تل‌انبار شده، مرطوب گردیده و امکان یافته که در آن تجزیه زیستی انجام شود. بعضی مواقع به آن کود شیمیایی اضافه می‌گردد. اگر عمدتاً از پس‌مانده‌های گیاهی ایجاد شود اغلب به آن کود دامی مصنوعی و یا کود دامی بازسازی شده اطلاق می‌شود.
- concretion** - سخت دانه : تراکم موضعی یک ترکیب شیمیایی مانند کربنات کلسیم و یا اکسید آهن به‌صورت ذرات و یا گره‌ها. در شکل، اندازه، سختی و رنگ متفاوت.
- conduction** - انتقال : انتقال گرما به‌وسیله‌ی تماس فیزیکی بین دو یا چند ماده.
- conductivity, hydraulic** - هدایت آبی : به hydraulic conductivity مراجعه شود.
- conifer** - سوزنی برگ : درختی که به رده‌ی Coniferae تعلق دارد، معمولاً همیشه سبز بوده و دارای میوه‌ی مخروطی‌شکل با برگ‌های سوزنی‌شکل و یا فلس‌مانند می‌باشد، چوب‌هایی تولید می‌کنند که به‌طور تجاری چوب نرم نامیده می‌شود.
- conservation tillage** - خاک‌ورزی حفاظتی : به tillage, conservation مراجعه کنید.
- consistence** - استحکام : خصوصیات مرکب مواد خاکی که مقاومت آن‌را در مقابل خردشدن و توانایی آن‌را برای شکل‌گرفتن و تغییرشکل مشخص می‌سازد. واژه‌هایی مانند سست، ترد، سفت، نرم، شکل‌پذیر و چسبنده پایداری خاک را تشریح می‌کنند.
- consistency** - پایداری : تعامل نیروهای هم‌چسبی و دگرچسبی در داخل خاک در میزان‌های مختلف رطوبت که برحسب سهولت نسبی تغییرشکل و یا برش خاک بیان می‌شود.
- consociation** - خاک‌مجموعه‌ی همسان : به soil consociation مراجعه کنید.
- consolidation test** - آزمایش تحکیم : یک آزمون آزمایشگاهی که در آن جرم خاک به‌طور جانبی در داخل یک استوانه محبوس شده و با نیروی مشخص بین دو صفحه متخلخل تحت تراکم قرار می‌گیرد.
- constant charge** - بار ثابت : بار خالص سطحی ذرات معدنی، که بزرگی آن فقط در ارتباط ترکیب شیمیایی و ساختاری کانی می‌باشد. این بار ناشی از جانشینی همشکل است و تحت تأثیر pH نمی‌باشد.
- consumptive use** - آب مصرفی : آب مصرف شده به‌وسیله‌ی نبات در ترق و رشد به انضمام هدر رفت بخار آب از خاک و یا برف مجاور و یا در برگ‌ها در هر زمان خاص، معمولاً برحسب عمق معادل آب آزاد در واحد زمان بیان می‌شود.
- contour** - خط تراز : یک خط فرضی که نقاط هم ارتفاع را در سطح یک خاک به هم وصل می‌کند، یک تراس تراز، عمود بر امتداد شیب در یک زمین پیاده می‌شود و در تمام مسیر آن تقریباً بدون شیب می‌باشد.
- contour strip cropping** - کشت نواری تراز : کشت گیاهان در نوارهای باریک که در آن عملیات زراعی تقریباً در روی تراز انجام می‌شود. معمولاً نوارهایی از علف‌های گندمی، گیاهان متراکم و یا آیش در تناوب با گیاهان ردیفی قرار می‌گیرند.
- controlled traffic** - تردد مهار شده : یک نظام مزرعه‌داری که در آن تمام حمل و نقل‌های وسایط چرخ‌دار در مسیرهای مشخص و یا ثابت انجام می‌گیرد، بنابراین تراکم مکرر خاک خارج از مسیر انتخاب شده انجام نمی‌شود.
- convection** - انتقال تماسی : انتقال حرارت از داخل یک محلول و یا یک گاز به دلیل حرکت مولکولی.
- corrugated irrigation** : آبیاری شیاری : به irrigation methods مراجعه کنید.
- cover crop** - محصول پوششی : یک زراعت متراکم که عمدتاً به منظور حفاظت و بهبود خاک بین دوره‌های تولید عادی محصول و یا بین درختان و تاکستان‌ها کشت می‌شوند.
- creep** - خزش : حرکت توده‌ای آرام خاک و یا مواد خاکی به طرف پایین در یک شیب نسبتاً تند، عمدتاً بر اثر ثقل، اما به‌واسطه‌ی اشباع با آب و تناوب یخ‌بستن و ذوب یخ ایجاد می‌شود.
- crop rotation** - تناوب زراعی : برنامه توالی کشت محصولات در تناوب با یکدیگر در همان قطعه زمین که مغایر با کشت مداوم یک محصول و یا کشت محصولات مختلف بدون برنامه می‌باشد.

- crotovina** - حفرات جانوران: حفرات سابق جانوران در یک خاک‌رخ که با مواد آلی و یا مواد دیگر طبقات پُر شده‌اند.
- crumb** - ساختمان اسفنجی: یک واحد ساختمانی طبیعی نرم و متحلل که کم‌ویش گرد بوده و دارای قطر ۱ تا ۵ میلی‌متر است به **soil structure types** مراجعه کنید.
- crushing strength** - نیروی برش: نیروی لازم برای خردکردن یک توده‌ی خاک خشک و یا برعکس پایداری یک توده‌ی خاک خشک به خردشدن که برحسب نیرو در واحد سطح (فشار) بیان می‌شود.
- crust** - سله: یک لایه‌ی سطحی بر روی خاک که ضخامت آن از چند میلی‌متر تا شاید ۳ سانتی‌متر متغیر است، بسیار متراکم و سخت بوده و هنگام خشک‌شدن از مواد زیر خود شکنده‌تر است.
- cryoturbation** - جابه‌جایی یخی: گسیختگی فیزیکی و جابه‌جایی مواد خاکی در داخل خاک‌رخ بر اثر نیروهای یخ‌زدن و ذوب یخ، بعضی مواقع به آن چرخش یخی اطلاق می‌شود که مسبب ایجاد خاک‌رخ‌های نامنظم، شکسته، به هم تابیده و قطعات سنگ جهت یافته و تراکم مواد آلی بر روی سطح یخ‌بندان دائمی می‌شود.
- cryptogam** - مجموعه‌ای از جلبک‌ها، گلستگ‌ها، خزها که معمولاً مسبب ایجاد یک لایه سخت نامنظم بر روی سطح خاک، به‌خصوص در خاک‌های بایر مناطق خشک می‌شود. بعضی مواقع به آن **cryptogam crust** اطلاق می‌شود.
- crystal** - بلور: یک ماده‌ی همسان‌معدنی با ترکیب شیمیایی مشخص که به‌وسیله‌ی سطوح مستوی به هم پیوند یافته و زوایای مشخصی با یکدیگر ایجاد می‌کنند که به ماده یک شکل هندسی خاص می‌دهد.
- crystal structure** - ساختار بلور: به ترتیب قرارگرفتن اتم‌ها در یک ماده بلوری اطلاق می‌شود.
- crystallin rock** - سنگ‌های بلوری: سنگ‌های حاوی مواد مختلف که در محل خود از مواد مذاب، بلوری شده‌اند. به **igneous rock** و **sedimentary rock** نیز مراجعه کنید.
- cultivation** - کشت و کار: عملیات خاک‌ورزی که برای آماده‌کردن زمین برای کشت بذر و یا نشا کاری به‌کار می‌رود و یا بعداً برای مبارزه با گیاهان هرز و سست‌کردن خاک مورد استفاده قرار می‌گیرند.
- cutans** - کوتان: تغییر بافت، ساختمان و یا ساختار در سطوح طبیعی مواد خاکی به علت تراکم اجزاء به‌خصوص خاک
- cynobacteria** - سیانوباکتری: باکتری‌های که دارای سبزینه (کلروفیل) بوده و برای فرایند کربن گیری (سوخت‌وساز نوری) و تثبیت زیستی نیتروژن سازگاری یافته‌اند. قبلاً به آن‌ها جلبک‌های سبز - آبی اطلاق می‌گردید.
- deciduous plants** - ثبات خزان‌کننده: نباتی که تمام برگ‌های آن در هر سال در فصل مشخص خزان و ریزش می‌کند.
- decomposition** - تجزیه: تجزیه شیمیایی یک ترکیب (معدنی و یا آلی) به ترکیبات ساده‌تر که اکثراً با کمک ریزجانداران انجام می‌شود.
- deflocculate** - جداسازی: ۱- تفکیک اجزاء جداگانه ذرات یک ترکیب به‌وسیله‌ی فرایندهای شیمیایی و یا فیزیکی ۲- به تعلیق درآوردن ذرات پراکنده در یک نظام کلوئیدی
- delta** - دلتا: یک رسوب آبرفتی که رود هنگام ورود به گسترده آبی آرام‌تر ته‌نشین می‌کند.
- denitrification** - نیترات زدایی: احیای زیست‌شیمی نیترات و نیتريت به نیتروژن گازی چه به‌صورت نیتروژن مولکولی و یا اکسیدهای نیتروژن.
- density** - چگالی: به **particle density** و **bulk density** مراجعه کنید.
- desalinization** - شوری‌زدایی: جدانمودن نمک‌ها از خاک‌های شور، معمولاً به‌وسیله‌ی آبیروی اراضی
- desert crust** - پوسته‌ی بیابانی: لایه‌ی سخت که حاوی کربنات کلسیم، گچ و سایر مواد اتصال‌دهنده است که در سطح مناطق بیابانی ظاهر شده‌است.
- desert pavament** - سنگ‌فرش بیابانی: تراکم طبیعی قلوه‌سنگ‌ها، قطعه‌سنگ‌ها و سایر قطعات سنگی نزدیک به هم در محل اصلی در سطح بیابان، عوامل فرساینده آب و باد سبب انتقال ذرات کوچک‌تر شده است.
- detritivore** - ریزه‌خوار: یک جاندار که بر روی مواد تخریب‌شده زندگی می‌کند.
- detritus** - خرده ریز: بقایای حاصل از گیاهان و نباتات مرده.
- desorption** - رهاسازی: جداسازی مواد جذب شده در روی سطوح.

diagnostic horizons - (مورد استفاده در رده‌بندی خاک) افق‌های تشخیصی: افق‌های دارای خصوصیات خاکی به‌خصوص که معرف کلاس مشخصی از خاک می‌باشند. افق‌های که در سطح خاک می‌باشند **epipedon** و آن‌هایی که زیرسطح خاک می‌باشند **diagnostic subsurface horizons** نامیده می‌شوند.

diagnostic subsurface horizons - افق‌های تشخیصی زیرزمینی: در رده‌بندی خاک افق‌های تشخیصی زیر مورد استفاده می‌باشند:

agric horizon - افق آگریک: یک افق خاک معدنی که در آن رس، لای و هموس حاصل از لایه‌های فوقانی شخم شده و کودشیمیایی خورده تجمع یافته‌اند، سوراخ کرم‌ها، رس، لای و هموس آبشویی شده حداقل ۵٪ حجم افق را اشغال کرده‌اند.

albic horizon - افق البیک: یک افق خاک معدنی که اکسیدهای آهن از آن جدا شده و یا اکسیدها در آن چنان تفکیک شده‌اند که رنگ افق عمدتاً به‌وسیله ذرات شن و لای اولیه به‌جای پوشش موجود بر روی این مواد مشخص می‌شود.

argillic horizon - افق ارجیلیک: یک افق خاک معدنی که بر اثر تجمع رس‌های سیلیکاتی ورقه‌ای آبشویی شده مشخص می‌شود.

calcic horizon - افق کلسیک: یک افق خاک معدنی غنی از کربنات کلسیم ثانویه که بیشتر از ۱۵ سانتی‌متر ضخامت داشته و دارای حداکثر بیش از ۱۵ درصد و حداقل ۵ درصد کربنات کلسیم معادل نسبت به افق زیرین C باشد.

cambic horizon - افق کمبیک: یک افق خاک معدنی که دارای بافت لوم شنی خیلی ریز و یا بافت ریزتر است، دارای بعضی کانی‌های قابل هوادیدگی بوده و به‌علت تغییر و یا حذف مواد معدنی شاخص می‌باشد. در افق کمبیک سیمانی‌شدن و سخت‌شدن وجود نداشته و فاقد شواهد آبشویی برای برآورد نیازهای افق ارجیلیک و اسپودیک است.

duripan - سخت لایه: یک افق خاک معدنی که به‌وسیله سیلیس چنان سیمانی شده است که قطعات هوا خشک آن در آب و اسید کلریدریک وا نمی‌روند.

gypsic horizon - افق جیپسیک: یک افق خاک معدنی غنی از سولفات کلسیم که بیش از ۱۵ سانتی‌متر ضخامت دارد.

kandic horizon - افق کندیک: افقی که افزایش رس نسبت به افق‌های فوقانی شدید بوده و دارای رس‌های کم‌فعالیت می‌باشند.

nitric horizon - افق نائتریک: یک افق خاک معدنی که دارای پیش‌نیازهای افق ارجیلیک بوده اما دارای ساختمان منشوری، ستونی و یا مکعبی نیز بوده و بخشی از آن دارای بیشتر از ۱۵ درصد سدیم قابل تبادل می‌باشد.

oxic horizon - افق اکسیک: یک افق خاک معدنی که حداقل ۳۰ سانتی‌متر ضخامت داشته و عملاً به‌دلیل نبود کانی‌های اولیه قابل هوادیدگی و یا رس‌های ورقه‌ای ۲:۱ شاخص می‌باشد. در این افق رس‌های ورقه‌ای ۱:۱ و کانی‌های بسیار نامحلول مانند شن کوارتز، اکسیدهای آب‌دار آهن و آلومینیوم وجود داشته و دارای ظرفیت تبادل کاتیونی کم و مقادیر اندکی کاتیون‌های بازی قابل تبادل است.

petrocalcic horizon - افق پترو کلسیک: یک افق پیوسته سخت شده کلسیک که به‌وسیله کربنات کلسیم و در بعضی جاها به‌وسیله کربنات متیزیم سیمانی شده است. این افق وقتی خشک باشد نمی‌تواند به‌وسیله بیل یا مته خاکبرداری حفاری گردد. قطعات خشک آن در آب و نمی‌رود، این لایه برای ریشه غیرقابل نفوذ است.

petrogypsic horizon - افق پترو جیپسیک: یک افق پیوسته متراکم شدیداً سیمانی شده به‌وسیله سولفات کلسیم. وقتی خشک است می‌توان آن‌را با بیل خرد کرد، قطعات خشک آن در آب وا نمی‌روند و در مقابل ریشه غیرقابل نفوذ است.

placic horizon - افق پلاسیک: یک افق خاک معدنی سیاه تا سیاه قرمز که معمولاً نازک بوده اما ضخامت آن از ۱ تا ۲۵ سانتی‌متر می‌باشد. این افق معمولاً به‌وسیله آهن سیمانی شده و نفوذ آب در آن آهسته بوده و ریشه‌ها در آن انتشار نمی‌یابند.

salic horizon - افق سالیک: یک افق خاک معدنی که از نمک‌های ثانویه غنی بوده و از گچ در آب سرد بسیار محلول‌تر می‌باشد. ضخامت افق سالیک ۱۵ سانتی‌متر و یا بیشتر می‌باشد.

sombric horizon - افق سامبریک: یک افق زیرسطحی خاک معدنی که شامل هموس آبشویی شده بوده اما دارای ظرفیت تبادل کاتیونی و درصد اشباع بازی پایین است. این افق عمدتاً به خاک‌های سرد و مرطوب فلات‌های مرتفع و مناطق کوهستانی اقلیم حاره‌ای و شبه‌حاره‌ای اختصاص دارد.

spodic horizon - افق اسپدیک: یک افق خاک معدنی که بر اثر تراکم ناشی از آبشویی مواد بی‌شکل مرکب از آلومینیوم و کربن آلی با و یا بدون آهن مشخص شده است.

sulfuric horizon - افق سولفوریک: یک افق زیرسطحی که در خاک‌های معدنی و چه در خاک‌های آلی که دارای $pH < 4/5$ و نقاط رنگی کاه مانند (نقاط رنگی جاروسیت) می‌باشد. این افق با اکسیدشدن مواد غنی از سولفید تشکیل شده و برای نباتات بسیار سمی است.

diagnostic surface horizons - افق‌های تشخیصی سطحی: که در رده‌بندی خاک به‌کار می‌روند. این‌پدون نامیده می‌شوند.

anthropic epipedon - افق انثروپیک: یک افق سطحی از خاک‌های معدنی که دارای همان پیش‌نیازهای افق سطحی مالیک بوده اما دارای بیشتر از ۲۵۰ . p.p.m P_2O_5 محلول در اسید ستریک ۱ درصد می‌باشد، و یا برای بیشتر از ۱۰ ماه (تجمعی) در ایامی که آبیاری نمی‌شود خشک است. افق انثروپیک طی زمان‌های طولانی کشت‌وکار و مصرف کود شیمیایی درست می‌شود.

histic epipedon - افق هیستیک: یک افق آلی خاک که طی بعضی از ایام سال از آب اشباع است مگر این‌که به‌طور مصنوعی زه‌کشی شود این افق در سطح و یا نزدیک سطح یک خاک معدنی قرار گرفته است.

melanic epipedon - افق ملانیک: یک افق سطحی که از مواد مادری آتشفشانی تشکیل شده است و دارای بیشتر از ۶ درصد کربن آلی، رنگ تیره، وزن مخصوص ظاهری بسیار پایین و ظرفیت جذب آنیونی بالا می‌باشد.

mollic epipedon - افق مالیک: افقی سطحی یک خاک معدنی که دارای رنگ تیره بوده و نسبتاً ضخیم است، دارای حداقل ۰/۶ درصد کربن آلی می‌باشد، ساختمان خاک در حالت خشک متراکم و سخت نیست، دارای درصد اشباع بازی بیشتر از ۵۰ درصد و کمتر از ۲۵۰ . p.p.m P_2O_5 محلول در اسید ستریک ۱ درصد بوده و عمدتاً از کاتیون‌های دو ظرفیتی اشباع می‌باشد.

ochric epipedon - افق اکریک: افق سطحی از یک خاک معدنی که دارای رنگ بسیار روشن و کرومای بسیار بالا است، میزان کربن آلی بسیار پایین بوده و یا برای اینکه یک افق پلاگن، مالیک، آمبریک، انثروپیک و یا هیستیک نامیده شوند بسیار نازک می‌باشد. در حالت خشکی است هم سخت و هم متراکم است.

plaggen epipedon - افق پلاگن: یک افق سطحی ساخت انسان یا ضخامت بیش از ۵۰ سانتی‌متر که با دادن کود حیوانی و به‌هم زدن خاک و کشت‌وکار در مدت طولانی ایجاد شده است.

umbric epipedon - افق آمبریک: یک افق سطحی از خاک‌های معدنی که دارای همان پیش‌نیازهای افق مالیک در ارتباط با رنگ، ضخامت، میزان کربن آلی، استحکام ساختمان، میزان P_2O_5 بوده اما درصد اشباع بازی آن از ۵۰٪ کمتر است.

diatomaceous earth - اراضی دیاتومه: رسوبات زمین ساخت از مواد نرم خاکستری رنگ سیلیکاتی که عمدتاً و یا کلاً از بقایای دیاتومه‌ها ایجاد شده‌اند. ممکن است به‌صورت گردی، و یا مواد صلب متخلخل وجود داشته باشند.

diatoms - دیاتومه: جلبک‌های که دارای دیواره‌ی یاخته‌ای سیلیسی بوده که بعد از مرگ استخوان‌بندی آن‌ها باقی می‌ماند. هر کدام از جلبک‌های یاخته همسان و یا پرکنه‌ی جلبک‌های میکروسکوپی که در کلاس Bacillariaceae قرار دارند. دیاتومه‌ها در آب‌های شیرین و یا شور به‌مقدار کافی وجود داشته و بقایای آن‌ها به‌طور گسترده در خاک‌ها توزیع یافته است.

diffusion - پخشیدگی، انتشار: حرکت اتم‌ها در مخلوط گازی و یا یون‌ها در محلول که عمدتاً در اثر حرکت تصادفی آن‌ها می‌باشد.

di octahedral sheet - صفحه دی‌اکتاهیدرال: یک صفحه‌ی ۸ وجهی از رس‌های سیلیکاتی که در آن‌ها محل اتم‌های فلزی با آرایش ۶ طرفه عمدتاً به‌وسیله یون‌های ۳ ظرفیتی مانند آلومینیوم پر شده است.

disintegration - خردشدن: تجزیه‌ی فیزیکی و یا مکانیکی و یا تفکیک یک ماده به اجزای تشکیل‌دهنده‌ی آن (برای نمونه خردشدن سنگ به کانی‌های تشکیل‌دهنده‌ی آن) می‌باشد.

disperse - پراکنده‌شدن: (۱) خردشدن ذرات مرکب، مانند خاکدانه‌ها به ذرات جداگانه تشکیل‌دهنده‌ی آن (۲) توزیع و یا تعلیق ذرات ریز مانند رس در داخل یک محیط پراکنش مانند آب.

dissolution - انحلال: فرایندی که در آن مولکول‌های گاز، جامد و یا محلول دیگر در یک محلول حل شده و بنابراین به‌طور کامل و یکنواخت در سراسر حجم مایع پراکنده می‌شوند.

diversion dam - سد انحرافی: یک سازه و یا مانع که برای انحراف بخشی و یا تمام آب یک رودخانه به مسیر دیگر ساخته می‌شود.

diversion terrace - تراس آب‌برگردان: به terrace مراجعه کنید.

drain - زه‌کش: نهی‌ی آبراهه‌هایی مانند نهرهای روباز و یا تنبوشه‌های زه‌کشی به‌طوری‌که آب اضافی بتواند بر اثر جریان سطحی و یا داخلی خاک خارج شود (۲) هدررفت آب (از خاک) به‌وسیله فرونشست.

drainag , soil - زه‌کشی خاک: فراوانی و طول ایامی که خاک از آب اشباع نیست.

drainfield , septic tank - میادین زه‌کشی، مخزن فاضلاب: محدوده‌ای از خاک که پساب حاصل از مخزن فاضلاب به‌داخل آن فرستاده می‌شود تا آن‌را از بخش‌های پایین خاک‌رخ برای دفع و تصفیه، زه‌کشی کند.

- drift** - مواد زمین‌رُفت: مواد از هر نوع که به‌وسیله‌ی فرایندهای زمین ساخت پس از برداشت از یک محل در محل دیگر ترسیب یافته باشند.
- یخ‌رفت‌های یخچالی شامل موادی است که به‌وسیله‌ی یخچال‌ها، رودها، جویبارها و دریاچه‌های همراه آن انتقال یافته‌اند.
- drumlin** - تپه‌های کم‌ارتفاع دراز صاف استوانه‌ای شکل که محور طولانی آن‌ها موازی با مسیر حرکت یخ می‌باشد.
- dryland farming** - زراعت دیم: عملیات تولید محصول در مناطق دارای بارندگی کم بدون انجام آبیاری
- duff** - کف‌پوشی از لایه سطحی آلی نسبتاً تجزیه‌شده‌ی خاک‌های جنگلی
- duripan** - سخت لایه: به **hard pan**, **diagnostic subsurface horizons** مراجعه کنید.
- dust mulch** - خاک‌پوش: یک لایه سست با گرد دانه‌های ریز و یا گردمانند بر روی سطح خاک، که معمولاً به‌وسیله‌ی ادوات کم‌عمق ایجاد می‌شود.
- E horizon** - افق E: افقی که با پیشینه آیشویی رس‌های سیلیکاتی و اکسیدهای آهن و آلومینیوم مشخص می‌شود، معمولاً در بالای افق B و زیر افق A قرار گرفته است.
- earthworms** - کرم‌های خاکی: جانوران مربوط به خانواده **Lumbricidae** که در داخل خاک حفاری و زندگی می‌کنند. آن‌ها پس‌مانده‌های گیاهی را با خاک مخلوط کرده و سبب بهبود تهویه خاک می‌شوند.
- ectotrophic mycorrhiza (ectomycorrhiza)** - قارچ-ریشه‌ی خارجی: همزیستی مشترک ریشه‌ی قارچ و ریشه‌ی گیاهان خاص که در آن ریشه‌ی قارچ یک پوشش متراکم بر روی سطح ریشه ایجاد کرده و در خاک‌های اطراف، و همچنین بین یاخته‌های پوستی اما نه در داخل یاخته‌ها گسترش می‌یابد. این همزیستی عمدتاً در ارتباط با درختان خاص می‌باشد به **endotrophic mycorrhiza** نیز مراجعه کنید.
- edaphology** - خاک‌شناسی: علمی که در ارتباط با تأثیر خاک‌ها بر اشیای زنده، به‌خصوص نباتات، و از جمله استفاده انسان از اراضی برای رشد گیاهان می‌باشد.
- effective precipitation** - بارندگی مؤثر: بخشی از کل بارندگی که برای رشد گیاهان و یا برای پیشرفت تشکیل خاک قابل استفاده می‌باشد.
- electrical conductivity (EC)** - هدایت الکتریکی: ظرفیت یک ماده برای هدایت و یا انتقال جریان الکتریسته در خاک‌ها و آب، برحسب زمینس درمتر اندازه‌گیری می‌شود و در ارتباط با مواد حل‌شدنی می‌باشد.
- electrokinetic potential** - پتانسیل جنبش الکتریکی: در نظام کلوییدی به تفاوت پتانسیل بین لایه‌ی غیرمتحرک چسبیده به سطح فاز پراکنده با محیط پراکنش می‌باشد.
- eluviation** - آیشویی، برداشت مواد خاکی در تعلیق (و یا در محلول) از یک لایه و یا لایه‌های خاک (هدررفت مواد در محلول معمولاً به‌وسیله‌ی واژه آیشویی تشریح می‌شود) به **leaching** نیز مراجعه کنید.
- endotrophic mycorrhiza (endomycorrhiza)** - قارچ-ریشه‌ی خارجی: یک همزیستی مشترک ریشه‌ی قارچ و ریشه‌ی گونه‌های گیاهی که در آن ریشه‌ی قارچ مستقیماً در داخل ریشه‌های مویی و دیگر یاخته‌های اپیدرم و گاه‌آ در داخل یاخته‌های پوستی وارد می‌شود. ریشه‌های انفرادی از سطح ریشه به خارج و به‌داخل خاک اطراف توسعه می‌یابد. به **vesicular arbuscular mycorrhiza** نیز مراجعه کنید.
- Entisols** - رده انتی‌سول: به طبقه‌بندی خاک مراجعه کنید.
- eoian soil material** - مواد بادورفت: مواد خاکی تجمع یافته بر اثر عمل باد. گسترده‌ترین مناطق در آمریکا رسوبات سیلنی (لس) است اما اراضی گسترده‌ای نیز با رسوبات شنی وجود دارند.
- epipedon** - لایه‌ی تشخیصی سطحی: یک افق تشخیصی سطحی که شامل بخش فوقانی تیره خاک ناشی از ماده‌ی آلی و پسا افق آیشویی شده فوقانی و یا هر دو می‌باشد. (رده‌بندی خاک).
- equilibrium phosphorus concentration** - غلظت تعادلی فسفر: غلظت فسفر در یک محلول که در تعادل با خاک است. **Epco** عبارتست از غلظت فسفر محلول حاصل از رهاسازی فسفر خاک به آب مقطر که فاقد فسفر است.
- erosion** - فرسایش: ۱) ساییدگی سطح اراضی بر اثر رواناب، باد، یخ و یا سایر عوامل زمین ساخت، از جمله فرایندهای مانند خزش ثقلی می‌باشد ۲) جداکردن و حرکت خاک و یا سنگ به‌وسیله‌ی آب، باد، یخ و یا ثقل می‌باشد. واژه‌های زیر برای تشریح انواع مختلف فرسایش آبی مورد استفاده می‌باشند:
- accelerated erosion** - فرسایش شتابی: فرسایشی که از فرسایش عادی، طبیعی و زمین شناخت، عمدتاً در نتیجه فعالیت‌های انسانی و در بعضی موارد حیوانات بسیار سریع‌تر است.

- gully erosion** - فرسایش آب‌کنندی: فرایند فرسایشی که در آن آب در آبراهه‌های باریک تمرکز یافته و طی زمان‌های کوتاه سبب برداشت خاک از این محدوده‌ی باریک تا اعماق قابل ملاحظه می‌گردد، که در مقدار اندک، ۱ تا ۲ متر و در مقدار زیاد، از ۲۳ تا ۳۰ متر متغیر است.
- natural erosion** - فرسایش طبیعی: فرسایش سطح کره‌ی زمین به‌وسیله‌ی آب، یخ و یا دیگر عوامل طبیعی در شرایط عادی عوامل محیطی مانند اقلیم، پوشش گیاهی و غیره، انسان در آن دخالت ندارد. مترادف **geologic erosion** می‌باشد.
- rill erosion** - فرسایش شیاری: یک فرایند فرسایشی که در آن آبراهه‌های کوچک متعددی فقط با چند سانتی‌متر عمق تشکیل می‌شود، این نوع فرسایش در خاک‌های جدیداً شخم خورده یافت می‌شوند. به **rill** نیز مراجعه کنید.
- sheet erosion** - فرسایش صفحه‌ای: برداشت لایه‌های نسبتاً پخت‌وخت خاک از سطح اراضی به‌وسیله‌ی رواناب.
- splash erosion** - فرسایش پاشمانی: پاشش ذرات کوچک خاک به‌وسیله‌ی برخورد قطرات باران بر روی خاک بسیار مرطوب می‌باشد. ممکن است ذرات سست و جدا شده متعاقباً به‌وسیله‌ی رواناب سطحی برداشت شده و یا برداشت نشوند.
- esker** - یک برجستگی باریک از مواد یخچالی شنی و سنگ‌ریزه‌ای که به‌وسیله‌ی رود در یک دره یا دیواره‌های یخی، و یا در یک شفته یا عقب‌نشینی یخچال به جای گذاشته می‌شود.
- essential element** - عناصر اصلی: عناصر شیمیایی لازم برای رشد عادی گیاهان.
- eukaryot** - ایوکاریوت: موجوداتی که یاخته‌های آن هرکدام دارای یک هسته واضح قابل مشاهده می‌باشند.
- eutrophic** - غلظت بهینه: دارای غلظت بهینه عناصر غذایی (و یا نزدیک آن) برای رشد نبات و حیوان
- eutrophication** - غنی‌شدن: غنی‌شدن عناصر غذایی در دریاچه‌ها، استخرها و یا سایر منابع آب که سبب تقویت رشد موجودات آبزی بوده و منجر به کمبود اکسیژن در آب می‌شود.
- evapotranspiration** - تبخیر - تعرق: کاهش مشترک آب به‌وسیله‌ی تبخیر از سطح خاک و تعرق از گیاه در یک منطقه مشخص و در یک مدت مشخص.
- exchangeable sodium percentage** - درصد سدیم قابل تعویض: میزان جای‌گزینی همتافت جذب یک خاک به‌وسیله‌ی سدیم که به‌صورت زیر بیان می‌شود.
- $$ESP = \frac{100 \times \text{سدیم قابل تبادل (سانتی‌مول بار در کیلوگرم خاک)}}{\text{ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی‌مول بار در کیلوگرم خاک)}}$$
- exchange capacity** - ظرفیت تبادل: ظرفیت کل بار یونی یک همتافت فعال جذب برای جذب یون‌ها. به **anion exchange** و **cation exchange capacity** نیز مراجعه کنند.
- exfoliation** - پوسته پوسته‌شدن: پوست‌اندازی لایه‌های یک سنگ از سطح به داخل، معمولاً بر اثر انبساط و انقباض حاصل از تغییرات دما.
- expansive soil** - خاک قابل انبساط: خاکی که بر اثر مرطوب و خشک‌شدن، به علت مقدار زیاد کانی‌های رسی قابل انبساط دچار تغییرات شدید حجم می‌شود.
- external surface** - سطح خارجی: مساحت سطح آشکار شده یک بلور یا میسل رسی در بالا، پایین و اطراف آن
- facultative organism** - موجودات انتخابگر: موجوداتی که قادرند هم سوخت‌وساز هوازی و هم سوخت‌وساز غیرهوازی داشته باشند.
- fallow** - آیش: اراضی زراعی نکاشت باقی‌مانده به‌منظور حفظ توان تولید. عمدتاً از طریق ذخیره‌ی آب، عناصر غذایی و یا هر دو. آیش تابستانه یک مرحله معمول قبل از کشت غلات در مناطق دارای بارندگی محدود می‌باشد. خاک از گیاهان هرز و دیگر گیاهان پاک شده بنابراین سبب حفظ عناصر غذایی و آب برای گیاه سال بعد می‌شود.
- family, soil** - خانواده‌ی خاک: دسته‌ی حد واسط بین گروه بزرگ و سری خاک در نظام طبقه‌بندی خاک، خانواده‌ها براساس خصوصیات فیزیکی و کانی‌شناسی مهم از نظر رشد گیاه مشخص می‌شوند (رده‌بندی خاک).
- fauna** - زیگان: حیات جانوری در یک منطقه و یا در یک بوم‌سامان.
- ferrihydrite** ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$): اکسید آهن قهوه‌ای قرمز تیره که در خاک‌های مرطوب تشکیل می‌شود.
- fertigation** - کود آبیاری: استعمال کودهای شیمیایی در آب آبیاری، عمدتاً از طریق نظام آبیاری بارانی.

fertility, soil - حاصلخیزی خاک : کیفیت خاک که آنرا قادر می‌سازد عناصر شیمیایی اساسی را در مقادیر و نسبت‌های لازم برای گیاهان خاص فراهم کند.

fertilizer - کود: هر نوع ماده‌ی آلی و معدنی با منشأ طبیعی و یا مصنوعی که برای تأمین عناصر اساسی خاص برای رشد نبات به خاک اضافه می‌شود. انواع کودهای عمده شامل :

bulk blended fertilizers - مواد کودی مخلوط جامد که در کارخانه‌های کوچک با هم مخلوط و در مزارع به‌صورت شفته توزیع می‌گردند، معمولاً به‌طور مستقیم در مزارع به‌وسیله‌ی بارکش و یا دیگر وسایل پخش می‌شوند.

granulated fertilizers - کودهای گرد دانه : کودهای که به شکل گرد دانه‌های پایدار و در اندازه‌ی یکنواخت وجود دارند، سبب تسهیل جابه‌جا کردن مواد و کاهش گرد نامطلوب می‌گردد.

liquid fertilizers - کود مایع : کودهای سیال که حاوی عناصر اساسی در شکل مایع چه به‌صورت عناصر محلول و یا مواد تعلیقی مایع و یا هر دو می‌باشد.

mixed fertilizers - کودهای مخلوط : دو یا چند مواد کودی که با هم مخلوط می‌شوند ممکن است به صورت گرد خشک، گرد دانه، قرص مانند، مخلوط حجمی و یا مایع باشند.

fertilizer requirement - نیاز کودی : مقدار مورد نیاز عناصر غذایی خاص نبات علاوه بر آنچه خاک تأمین می‌کند برای تأمین رشد نبات در حد مطلوب.

fibric materials - مواد رشته‌ای : به **organic soil materials** مراجعه کنید.

field capacity (field moisture capacity) - میزان رطوبت مورد نیاز : درصد آب که ۲ تا ۳ روز بعد از آن‌که خاک اشباع گردیده و بعد از این‌که زه‌کشی عملاً متوقف شده باشد در خاک باقی می‌ماند.

fine-grained mica - میکای دانهریز : رس سیلیکاتی با ساختمان لایه‌ای ۲:۱ که اکثر سیلیس در صفحه‌ی چهاروجهی به‌وسیله‌ی آلومینیوم جایگزین شده و دارای مقدار قابل توجهی پتاسیم بین لایه‌ای می‌باشد، که لایه‌ها را به هم متصل نموده و از انبساط بین لایه‌ای و حجیم شدن ممانعت نموده. و سبب محدود شدن ظرفیت تبادل کاتیونی می‌شود.

fine texture - بافت ریز : شامل مقادیر زیادی از ذرات ریز، به‌خصوص رس و لای می‌باشد (شامل بافت‌های لوم رسی، لوم رسی شنی، لوم رسی سیلتی، رسی شنی، رس سیلتی و بافت رسی می‌باشد).

first bottom - اولین کف : سیلدشت معمولی یک رود.

fixation - تثبیت : ۱) غیراز نیتروژن عنصری : فرایندی در خاک که در آن عناصر اساسی غذایی مورد نیاز رشد نبات از شکل محلول و یا قابل تبادل به شکل بسیار کم محلول و یا غیرقابل تبادل تبدیل می‌شوند. ۲) در مورد نیتروژن عنصری : فرایندی که در آن نیتروژن عنصری گازی به‌طور شیمیایی برای تولید آمونیاک با هیدروژن ترکیب می‌گردد.

biological nitrogen fixation - تثبیت زیستی نیتروژن : در دما و فشار معمولی صورت می‌گیرد، معمولاً به‌وسیله‌ی باکتری‌ها، جلبک‌ها و اکتینومیت‌های خاص انجام می‌شود، که ممکن است با گیاهان عالی همزیست بوده و یا نباشند.

chemical nitrogen fixation - تثبیت شیمیایی نیتروژن : در فشار و دمای بالا در کارخانه‌ها انجام می‌گیرد و تولید آمونیاک می‌کند که برای ساخت اکثر کودهای شیمیایی مورد استفاده می‌باشد.

flagstone - سنگ ایستاده : یک سنگ نسبتاً نازک و یا قطعات کانی با طول ۳۸-۱۵ سانتی‌متر که معمولاً از پلمه‌سنگ - اسلبت، سنگ آهک و ماسه سنگ تشکیل شده است.

flocculate - هماوری : ایجاد خاکدانه و یا به‌هم پیوستن ذرات ریز و انفرادی خاک به‌خصوص رس ریز به خوشه‌ها و ذرات پنبه مانند. عکس **deflocculate** و یا **disperse** می‌باشد.

floodplain - سیلدشت : پهنه‌ی اراضی که در آن رودخانه تعریض می‌گردد، از رسوبات حاصل از سرریزگشتن رود ایجاد می‌شود و وقتی رود در حالت طغیانی است به زیر آب می‌رود. بعضی مواقع به آن اراضی کفی و یا اراضی پست گفته می‌شود.

flora - گیاهان: مجموعه‌ی کل انواع گیاهان یک منطقه در یک زمان. جاندارانی که با تردید در قلمرو گیاهی مورد ملاحظه قرار می‌گیرند.

fluorapatite - فلوروآپاتیت : یکی از اعضای گروه کانی‌های آپاتیت که دارای فلور می‌باشد. معمول‌ترین کانی در سنگ‌های فسفاته است.

fluvial deposits - مواد مادری رسوبی : مواد مادری رسوبی که به‌وسیله‌ی رودها و نهرا تنشین گردیده‌اند.

- fluviogalacial** - مواد مادری رودخانه‌ای یخچالی : به glacio fluvial مراجعه کنید.
- foliar diagnosis** - تشخیص برگی : برآورد کمبود (زیادبود) عناصر غذایی نباتات براساس آزمون ترکیب شیمیایی بخش‌های انتخاب شده نبات و رنگ و خصوصیات رشد پوشش برگی گیاهان می‌باشد.
- fragipan** - سخت لایه‌ی شکننده : سخت لایه‌ی متراکم و ترد زیرزمینی در خاک‌ها، که سختی خود را عمدتاً به‌خاطر چگالی و یا تراکم زیاد، نه میزان رس و نه سیمانی‌شدن به‌دست آورده است. قطعات برداشت شده از این لایه ترد بوده اما مواد در جای خود چنان متراکم هستند که انتشار ریشه درختان و حرکت آب به‌داخل آن بسیار آهسته می‌باشد.
- friable** - ترد، شکننده : یک واژه‌ی استحکام خاک که ذرات به آسانی خرد می‌شوند.
- frigid** - یخ‌زده : به soil temperatur classes مراجعه کنید.
- fritted micronutrients** - خاکستر سیلیکات‌ها: دارای تجزیه‌های کلی تضمین مقدار ریزمغذی‌ها با خصوصیات آزادشدن تحت نظر (نسبتاً آهسته) می‌باشند.
- fulvic acid** - اسید فولویک : واژه‌ای که دارای استفاده‌ی متفاوت بوده و معمولاً مربوط به مخلوط مواد آلی باقی‌مانده در محلول پس از اسیدی‌کردن عصاره آمکی رقیق خاک می‌باشد.
- functional diversity** - تنوع رفتار : خصوصیات یک بوم‌سامان که به‌وسیله‌ی ظرفیت آن در انجام تعداد زیادی از تغییر شکل‌های زیست‌شیمی و سایر وظایف مشخص می‌شود.
- fungi** - قارچ‌ها : ریزجانداران ایوکاریوت با یک دیواره‌ی یاخته‌ای سفت، بعضی‌ها رشته‌های نازک از یاخته به اسم ریشه تشکیل می‌دهند. که درصورت رشد آن‌ها با همدیگر یک حجم قابل رؤیت را تشکیل می‌دهند.
- furrow irrigation** - آبیاری جویچه‌ای : به irrigation methods مراجعه کنید.
- furrow slice** - طبقه‌ی شخم : بالاترین لایه‌ی یک خاک زراعی تا عمق شخم اولیه، لایه‌ی خاک از بقیه‌ی خاک‌رخ به‌وسیله‌ی گاواهن برگردان‌دار جدا می‌شود.
- gamma ray** - اشعه‌ی گاما : یک اشعه پراثرژی (فوتون) که در اثنای تجزیه موتد پرتوزا یک عنصر خاص آزاد می‌شود.
- Gelisols** - خاک‌های یخبندان دایم : به soil classification مراجعه کنید.
- gellic materials** - مواد یخبندان دایم : مواد معدنی و آلی خاک که دارای گردش یخ در خاک‌رخ و یا یخ در شکل عدسی‌ها، رگه‌ها و گوه‌ها می‌باشند.
- genesis soil** - تکوین خاک : چگونگی تکوین خاک باتوجه خاص به فرایندهای مسوول تکامل سولوم و یا خاک واقعی از مواد مادری ناپیوسته،
- genetic horizon** - افق توارثی : لایه‌های خاک که از فرایندهای خاک‌سازی (پدوژنز) حاصل شده‌اند، و با رسوب‌گذاری و سایر فرایندهای زمین شناخت متفاوت می‌باشند.
- geological erosion** - فرسایش زمین‌شناختی به erosion و natural مراجعه کنید.
- gibbsite, Al(OH)₃** - گیبسیت : یک کانی دارای هیدراکسید آلومینیوم، که در خاک‌های خیلی هوازده مانند اکسی‌سول‌ها فراوان می‌باشد.
- gilgai** - گیلگای : پستی و بلندی جزئی که در اثر انقباض و انبساط با تغییرات رطوبت وجود می‌آید. در خاک‌هایی یافت می‌شود که دارای مقادیر زیادی رس بوده و با خشک و مرطوب‌شدن انقباض و انبساط قابل ملاحظه‌ای پیدا می‌کنند. معمولاً توالی ریزحوضچه‌ها و ریز برجستگی‌ها در اراضی تقریباً مسطح و یا ریزدره‌ها و ریزتپه‌ها موازی با مسیر شیب صورت می‌پذیرد.
- glacial drift** - مواد یخ‌رفت : خردریزه‌های سنگ‌ها که به‌وسیله‌ی یخچال‌ها چه مستقیم به‌وسیله‌ی حرکت یخ و یا به‌وسیله‌ی آب ذوب شده حمل شده و ترسیب می‌یابد. خردریزه‌ها ممکن است همسان و یا غیرهمسان باشند.
- glacial till** - یخ‌رفت غیرمتجانس : به till مراجعه کنند.
- glaciofluvial deposits** - رسوبات یخچال - رودخانه‌ای : موادی که به‌وسیله‌ی یخچال‌ها حرکت کرده و متعاقباً به‌وسیله‌ی رودخانه‌های جاری حاصل از ذوب یخ دست‌چین شده و رسوب می‌یابند. ممکن است رسوبات لایه‌بندی‌شده و به صورت دشت‌های فرسایشی - مصب‌ها، برجستگی‌های سنگ‌ریزه‌ای و تراس‌های سنگ و خاک مشاهده شوند.

- gleyed** - نقاط احیایی: شرایط خاک حاصل از اشباع طولانی با آب و شرایط احیایی که خود را به صورت رنگ‌های سبز و آبی در سراسر توده‌ی خاک و یا در رگه‌ها نشان دهند.
- glomalin** - همتافت قند و پروتئین که به‌وسیله‌ی قارچ‌های مخصوص ترشح شده و سبب ایجاد یک سطح ریشه‌ای چسبنده می‌گردد. که به‌نظر می‌رسد سبب پایداری خاکدانه‌ها می‌شود.
- FeOOH و goethite** - گوئیت: کانی اکسید آهن زرد - قهوه‌ای که سبب رنگ قهوه‌ای در بسیاری از خاک‌ها می‌شود.
- granular structure** - ساختمان خاکدانه‌ای: ساختمان خاک که در آن ذرات انفرادی به‌صورت خاکدانه‌های کروی با سطوح غیرمشخص گرد هم آمده‌اند. به خاکدانه‌های خیلی متخلخل crumb گفته می‌شود. یک خاک با ساختمان خاکدانه‌های خوب دارای بهترین ساختمان برای اکثر گیاهان زراعی می‌باشد. به soil structure types مراجعه کنند.
- granulation** - خاکدانه‌سازی: فرایند تولید مواد خاکدانه‌ای، این واژه معمولاً در تشکیل خاکدانه‌های ساختمانی به کار می‌رود، اما در فرایندهای ایجاد گرددانه‌ها از کودهای گردی نیز به کار می‌رود.
- grassed waterway** - آبراهه چمنی: آبراهه طبیعی و یا ایجاد شده که به‌وسیله‌ی چمن‌های مقاوم به فرسایش پوشش یافته است و امکان تخلیه رواناب را بدون ایجاد فرسایش زیاد فراهم می‌سازد.
- gravitational potential** - پتانسیل ثقلی: به soil water potential مراجعه کنید.
- gravitational water** - آب ثقلی: آبی که به داخل، در داخل و یا به خارج خاک در اثر تأثیر ثقل حرکت می‌کند.
- great group** - گروه بزرگ خاک: به soil classification مراجعه کنید.
- greenhouse effect** - اثرات گلخانه‌ای: محبوس کردن حرارت به‌وسیله‌ی گازهای نیوار فوقانی مانند گاز کربنیک، بخار آب و متان، درست همانند شیشه که گرما را در یک گلخانه حبس می‌کند. به‌نظر می‌رسد افزایش مقادیر این گازها در نیوار سبب گرم شدن کره‌ی زمین گردیده و ممکن است اثرات زیانباری را برای انسان داشته باشد.
- green manure** - کود سبز: مواد گیاهی که هنگام سبزبودن، و یا بلافاصله پس از رشد کامل برای اصلاح خاک با خاک مخلوط می‌شوند.
- ground water** - آب زیرزمینی: آب زیرزمینی در منطقه‌ی اشباع که آزادانه در اثر نیروی ثقل معمولاً به‌طور افقی به آبراه رودخانه حرکت می‌کند.
- gully erosion** - فرسایش خندقی: به فرسایش مراجعه کنید.
- gypsic horizon** - افق جیپسیک: به diagnostic subsurface horizon مراجعه کنید.
- gypsum requirement** - گچ مورد نیاز: مقدار گچ مورد نیاز برای کاهش سدیم قابل تبادل به یک سطح قابل قبول در یک خاک
- halophyte** - گیاه نمک‌دوست: گیاهی که نیازمند نمک بوده و یا بتواند یک محیط شور (دارای نمک زیاد) را تحمل کند.
- hard pan** - سخت کفه: یک لایه‌ی سخت در قسمت زیرین افق A و یا در افق B که بر اثر سیمانی شدن ذرات خاک به‌وسیله‌ی ماده‌ی آلی و یا موادی مانند سیلیس، اکسیدها، و یا کربنات کلسیم ایجاد شده باشد. سخت کفه‌ها در اثر تغییرات در میزان رطوبت خیلی زیاد تغییر نمی‌یابند. قطعات آن‌ها در آب وا نمی‌روند. caliche, claypan را نیز مشاهده کنند.
- harrowing** - دندانه زدن: عملیات شخم ثانویه‌ی سطحی که سبب خرد شدن، صاف شدن و سفت شدن خاک برای تهیه بستر بذر می‌شود. سبب مبارزه با گیاهان هرز و یا مخلوط کردن مواد پخش شده در سطح با خاک می‌شود.
- heaving** - ورامدن: بلند کردن نسبی گیاهان، ساختمان‌ها، جاده‌ها، تیرهای حصارکشی و غیره به خارج از سطح زمین در نتیجه یخ زدن و ذوب شدن خاک سطحی در طول زمستان.
- heavy metals** - فلزات سنگین: فلزاتی که دارای وزن مخصوص بیشتر از ۵ مگاگرم در متر مکعب و یا بیشتر می‌باشند. عناصر سنگین خاک عبارتند از Cr, Co, Cd Zn, Pb, Mo, Mn, Hg, Fe, Cu
- heavy soil** - (واژه‌ی فراموش شده در کاربرد علمی) خاک سنگین: خاکی که دارای مقدار زیادی اجزاء ریز مخصوصاً رس بوده، و یا خاکی که نیازمند نیروی کشش زیاد بوده و شخم زدن آن مشکل است.
- hematite, Fe₂O₃** - هماتیت: یک کانی اکسید آهن که سبب ایجاد رنگ قرمز در بسیاری از خاک‌ها می‌شود.
- herbicide** - علفکش: یک ماده‌ی شیمیایی که سبب نابودی گیاهان و یا معانیت از رشد آن‌ها می‌شود. موادی که به منظور مبارزه با گیاهان هرز مصرف می‌شوند.

- herbivore** - گیاه‌خوار : به حیوان گیاه‌خوار گفته می‌شود.
- heterotroph** - ناخودپرور: موجوداتی که انرژی فرایندهای حیاتی خود را تنها از تجزیه‌ی ترکیبات آلی به‌دست آورده و قادر نمی‌باشند ترکیبات معدنی را به عنوان تنها منبع انرژی برای بازسازی مواد آلی مورد استفاده قرار دهند. مخالف واژه **autotroph** است.
- Histosols** - هیستوسول: به **soil classification** مراجعه کنید.
- histic epipedon** - افق هیستیک: به **diagnostic surface horizons** مراجعه کنید.
- horizon, soil** - افق خاک: لایه‌ای از خاک، که تقریباً موازی سطح خاک بوده و از نظر خصوصیات و خواص با لایه‌های مجاور بالایی و زیرین متفاوت می‌باشد. به **diagnostic surface horizons** و **diagnostic subsurface horizons** نیز مراجعه کنید.
- horticulture** - باغبانی: هنر و دانش کاشت میوه‌ها، سبزی‌ها و گیاهان زینتی.
- hue (color)** - زمینه رنگ: به نظام **Munsell color system** مراجعه کنید.
- humic acid** - اسید هومیک: مخلوطی از ترکیبات نامشخص و یا متغیر مواد تیره‌ی آلی که در اسیدی‌کردن عصاره‌ی اشیاعی خاک با مواد قلیایی رقیق ته‌نشین می‌شود.
- humic substances** - مواد هومیکی: مجموعه‌ای از مواد آلی دارای رنگ قهوه‌ای تا تیره با وزن مولکولی نسبتاً بالا که حدود ۶۰ تا ۸۰ درصد ماده‌ی آلی خاک را شامل شده و در مقابل حمله میکروبی کاملاً مقاوم است.
- humid climate** - اقلیم مرطوب: آب و هوای مناطقی که رطوبت به طور معمول در سراسر سال توزیع یافته، و سبب محدودیت تولید محصولات نمی‌شود. در مناطق خنک بارندگی سالانه تا میزان ۲۵ سانتی‌متر تقلیل یافته و در مناطق گرم به ۱۵۰ سانتی‌متر و یا بیشتر برسد. پوشش طبیعی در اراضی کشت‌نشده به صورت جنگل است.
- humification** - هوموسی‌شدن: فرایندی که سبب تجزیه‌شدن ماده‌ی آلی و تشکیل هموس می‌گردد.
- humin** - هومین: بخشی از ماده‌ی آلی که در عصاره‌گیری خاک با مواد قلیایی رقیق در آن حل نمی‌شوند.
- humus** - هموس: آن بخش کم‌بیش پایدار ماده‌ی آلی که پس از تجزیه بخش اعظم پس‌مانده‌های گیاهی و جانوری باقی می‌ماند معمولاً رنگ هموس تیره می‌باشد.
- hydration** - آبگیری: به پیوستگی شیمیایی بین یک ین و یا ترکیب با یک و یا چند مولکول آب اطلاق می‌شود. واکنش در اثر جذب ین و یا ترکیب به‌وسیله‌ی هیدروژن و یا الکترون‌های غیرمشترک اتم اکسیژن تقویت می‌شود.
- hydraulic conductivity** - هدایت آبی: به سهولت عبور یک مایع مانند آب در داخل یک جامد مانند خاک در عکس‌العمل به شیب پتانسیل اطلاق می‌گردد.
- hydric soils** - خاک‌های مرطوب: خاک‌های که مدت‌های طولانی از آب اشباع بوده به‌طوری‌که سبب ایجاد شرایط احیا گردیده و در رشد گیاهان تأثیر داشته باشد.
- hydrogen bonding** - پیوند هیدروژنی: پیوندی با انرژی نسبتاً کم که به‌وسیله‌ی اتم هیدروژن واقع در بین اتم‌های الکترونگاتیف شدید مانند نیتروژن و اکسیژن به نمایش گذاشته می‌شود.
- hydrologic cycle** - چرخه‌ی آبی: چرخه‌ی حرکت آب از نیوار به خاک و از خاک به نیوار از طریق فرایندهای مختلف مانند بارندگی، برگاب، رواناب، نفوذ سطحی، فرونشست، ذخیره، تبخیر و تعرق می‌باشد.
- hydrolysis** - آبکافت: به واکنش آب بایک ترکیب (معمولاً یک نمک) اطلاق می‌شود. هیدراکسیل آب با کاتیون ترکیب و در اثر آبکافت تشکیل یک باز می‌دهد، و ین هیدروژن آب با آنیون ترکیب و یک اسید را به‌وجود می‌آورد.
- hydronium** - ین هیدروژن آبدار شده (H_3O^+): شکل ین هیدروژن که معمولاً در یک نظام آبی موجود است.
- hydroponics** - هیدروپونیک (آب‌کشتی): نظام تولید گیاهان که از محلول غذایی به جای محیط جامد برای رشد گیاهان استفاده می‌کند.
- hydrous mica** - میکای آبدار: به **fine-grained mica** مراجعه کنید.
- hydroxyapatite** - هیدراکسی اپاتیت: عضوی از کانی‌های اپاتیت که از گروه‌های هیدراکسیل غنی است. فسفات کلسیم تقریباً غیرمحلول.
- hygroscopic coefficient** - ضریب هیگروسکوپیک (ضریب نم‌گیری): مقدار رطوبت در یک خاک خشک وقتی که با رطوبت نسبی استاندارد در نزدیکی اشباع (حدود ۹۸ درصد) در تعادل می‌باشد. این مقدار رطوبت برحسب درصد وزن خشک کوره بیان می‌شود.

hyperthermic - بسیار کم: به soil temperature classes مراجعه کنید.

hypha (hyphae) - ریشه: یاخته‌ای قارچ‌ها، اکتینومیسیت‌ها نیز یاخته‌های رشته‌ای مشابه اما نازک‌تر تولید می‌کنند.

hysteresis - پس ماند: رابطه بین دو متغیر که بنابر ترتیب آن‌ها یا نقطه شروع تغییر می‌کند. نمونه رابطه‌ی بین رطوبت خاک با پتانسیل آب است که در آن منحنی‌های مختلف رابطه بین خاکی را که آب دریافت می‌دارد و خاکی را که آب از دست می‌دهد، تشریح می‌کند.

igneous rock - سنگ آذرین: سنگی که از سرد شدن و سخت شدن مواد مذاب تشکیل شده، و از بدو تشکیل تا حال به‌طور قابل ملاحظه‌ای تغییر نیافته است.

illite - میکای بافت ریز: به fine-grained mica مراجعه کنید.

illuvial horizon - افق انباشته: لایه یا افقی از خاک که در آن مواد حمل شده از یک لایه فوقانی در محلول رسوب یافته و یا از محلول معلق ته‌نشین شده است. لایه‌ی تجمع مواد.

immature soil - خاک نارس: خاکی با لایه‌های غیرقابل تمایز و یا اندک تکامل یافته به خاطر زمان کوتاهی که در معرض فرایندهای مختلف تشکیل خاک قرار گرفته است. خاکی که با پیرامون خود به تعادل نرسیده است.

immobilization - عدم تحرک: تبدیل یک عامل از شکل معدنی به شکل آلی در بافت‌های میکروبی و یا گیاهی، به‌طوری‌که عنصر برای سایر موجودات و گیاهان غیرقابل استفاده گردد.

imogolite - یک کانی آلومینوسیلیکات با ساختمان بلوری ضعیف با فرمول تقریبی $\text{Si}_2\text{O}_2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ ، این کانی در خاک‌های حاصل از خاکسترهای آتشفشانی یافت می‌شود.

impervious - غیرقابل نفوذ: مقاومت در مقابل دخول مایعات و یا ریشه‌ی نباتات

Inceptisols - به soil classification مراجعه کنید.

indurated (soil) - مواد سخت شده: مواد خاکی که به‌صورت یک توده سخت سیمانی درآمده و با خیس شدن نرم نمی‌شوند به consistence و hardpan مراجعه کنید.

infiltration - نفوذ آب: ورود رو به پایین آب در داخل خاک

infiltration capacity - گنجایش نفوذ: خصوصیت خاک که بیانگر بیشینه‌ی مقداری است که آب می‌تواند تحت شرایط خاص، از جمله وجود آب اضافی وارد خاک شود.

inoculation - تلقیح، مایه زدن: فرایند افزودن ریزجانداران خالص و یا مخلوط به داخل محیط کشت طبیعی و یا مصنوعی

inorganic compounds - ترکیبات غیرآلی (معدنی): ترکیبات شیمیایی موجود در طبیعت به‌استثنای ترکیبات کربن‌دار غیراز منواکسید کربن، گازکربنیک و کربنات‌ها

insecticide - حشره کش: ترکیب شیمیایی که سبب نابودی حشرات می‌شود.

intergrade - بینابین: خاکی که دارای خصوصیات قابل تشخیص نسبتاً تکامل یافته دو یا چند گروه بزرگ خاک مربوط به هم از نظر توارثی باشد.

interlayer - بین لایه‌ای (کانی‌شناسی): مواد موجود در بین لایه‌های داخل یک بلور مورد نظر، که شامل کاتیون‌ها، کاتیون‌های آب‌دار، مولکول‌های آلی و گروه‌ها یا لایه‌های هیدرواکسید باشد.

internal surface - سطح داخلی: سطح آشکار شده در داخل یک بلور و یا میسل رسی بین لایه‌های جداگانه، با external surface مقایسه کنند.

ions - یون‌ها: اتم‌ها، گروه‌های اتم‌ها و یا ترکیباتی که در اثر از دست دادن الکترون‌ها (کاتیون‌ها) و یا به‌دست آوردن الکترون‌ها (آنیون‌ها) باردار شده‌اند.

iron pan - سخت کفه‌ی آهنی: افق سخت شده خاک که در آن اکسید آهن عامل اصلی سیمانی کردن می‌باشد.

irrigation efficiency - بازده آبیاری: نسبت آب مصرف شده واقعی به‌وسیله‌ی نبات در یک قطعه‌ی تحت آبیاری به مقدار آب توزیع شده از منبع آبیاری در آن قطعه اطلاق می‌شود.

irrigation methods - روش‌های آبیاری: روش‌هایی که به‌وسیله‌ی آن آب به‌طور مصنوعی در یک منطقه مورد استعمال قرار می‌گیرد روش‌ها و شیوه‌های استعمال آب به‌شرح زیر می‌باشند:

border strip - آبیاری نواری: آب در بخش بالایی نوار که دارای مرزهای خاکی برای محبوس نمودن آب است توزیع می‌گردد.

center pivot - نظام آبیاری بارانی دورانی: آبیاری بارانی خودکار که با گردش بازو و یا لوله آبیاری، در حول نقطه مرکزی انجام می‌شود و آب را به سر آب‌پاش‌ها و یا آفشان‌ها از مرکز مزرعه تحت آبیاری عرضه می‌کند.

check - basin - آبیاری کرتی: آب با سرعت به کرت‌های نسبتاً مسطح که به وسیله گوره‌هایی محصور شده‌اند وارد می‌شود حوضچه یک مانع کوچک است.

corrugation - آبیاری شیاری: آب درنشتی‌های کوچک نزدیک به هم معمولاً در غلات و گیاهان علوفه‌ای استعمال می‌شود تا جریان آب آبیاری در یک جهت معطوف گردد.

drip - آبیاری قطره‌ای: یک نظام آبیاری طراحی شده که در آن تمام تمهیدات برای استعمال آب آبیاری مستقیماً به منطفه‌ی ریشه گیاهان به‌طور کارا با استفاده از ادوات توزیع (روزنه، قطره‌چکان‌ها، لوله‌های متخلخل و یا لوله‌های مشبک و غیره) با فشار اندک به‌عمل آمده است. ادوات توزیع ممکن است در رو و یا زیر سطح زمین جایگذاری شده باشند.

flooding - آبیاری غرقابی: آب از نهرها رها شده و امکان می‌یابد که سطح زمین را غرقاب کند.

furrow - آبیاری جویچه‌ای: آب در کشت‌های ردیفی در نهرهایی که به وسیله ادوات خاک‌ورزی ایجاد شده‌اند توزیع می‌شود.

sprinkler - آبیاری بارانی: آب از طریق آفشان‌ها از یک نظام تحت فشار به‌صورت افشان توزیع می‌گردد.

subirrigation - آبیاری زیرزمینی: آب از نهرهای باز و یا تنبوشه‌ها استعمال می‌شوند تا اینکه سطح آب زیرزمینی به مقدار کافی برای مرطوب کردن خاک بالا آید.

wild-flooding - سیلابی: آب از نقطه‌های مرتفع در مزرعه رها شده و توزیع آن تحت مدیریت نمی‌باشد.

interstratification - میان لایه‌بندی: مخلوط شدن لایه‌های سیلیکاتی در چهارچوب ساختمانی یک رس سیلیکاتی

isomorphous substitution - جانشینی همشکل: جایگزینی یک اتم به وسیله اتم هم اندازه آن در یک لایه بلوری بدون اینکه سبب به هم ریختن و یا تغییر ساختمان بلوری کانی گردد.

isotopes - ایزوتوپ: دو یا چند اتم از همان عنصر که دارای جرم‌های اتمی متفاوت به خاطر تعداد نوترون‌های متفاوت در هسته آن‌ها می‌باشند.

joule - ژول: واحد انرژی در نظام SI که عبارت است از نیروی ۱ نیوتن که در فاصله یک متر اعمال می‌شود. هر ژول ۰/۲۳۹ کالری است.

kame - پشته ییخچالی: یک تپه و یا برجستگی مخروطی شن و سنگ‌ریزه که در تماس با یخ ییخچال‌ها رسوب یافته‌اند.

kaolinite - کائولینیت: یک کانی بلوری آلومینوسیلیکات با گروه لایه‌ای ۱:۱ که از یک صفحه سیلیس چهاروجهی در تناوب با یک صفحه آلومینیوم ۸ وجهی تشکیل شده است.

labile - ناپایدار: یک ماده که به سهولت به وسیله ریزجاندانان تغییر شکل یافته و یا برای جذب به وسیله گیاهان به راحتی قابل استفاده می‌باشد.

lacustrine deposit - ته‌نشست‌های دریاچه‌ای: موادی که در آب دریاچه ته‌نشین شده و بعدها با پایین رفتن سطح آب و یا بالا آمدن سطح زمین آشکار شده‌اند.

land - اراضی: یک واژه‌ی وسیع دربرگیرنده تمام محیط طبیعی مناطقی از زمین که به وسیله آب پوشیده نشده باشند. علاوه بر خاک، شامل مسایر شرایط فیزیکی، مانند تهشته‌ی کانی‌ها و منابع آب؛ موقعیت در رابطه با مراکز تجاری، جمعیت، و سایر اراضی؛ اندازه قطعات مالکیت‌ها؛ و پوشش گیاهی موجود، عملیات اصلاحی، و غیره می‌باشد.

land capability classification - طبقه‌بندی قابلیت اراضی: گروه‌بندی انواع خاک‌ها در واحدهای خاص، زیرکلاس‌ها و کلاس‌ها براساس قابلیت آن‌ها برای استفاده‌ی پرنهاد و اصلاح لازم برای استفاده پایدار از آن‌ها می‌باشد. یکی از این نظام‌ها به وسیله سازمان حفاظت منابع طبیعی وزارت کشاورزی آمریکا تهیه شده است.

land classification - طبقه‌بندی اراضی: تنظیم واحدهای اراضی در دسته‌بندی‌های مختلف براساس خصوصیات اراضی و تناسب آن‌ها برای منظوره‌ای خاص

land forming - شکل دادن زمین: شکل دادن سطح زمین به وسیله تراشیدن نقطه‌های بلند و پرکردن نقطه‌های پایین با ماشین‌آلات دقیق تسطیح برای ایجاد یک شیب پک‌نواخت هموار اغلب به منظور انجام آبیاری. به آن هموار کردن اراضی نیز اطلاق می‌شود.

land use planning - طراحی کاربری اراضی، آمایش سرزمین: ارائه طرح‌هایی برای استفاده از اراضی که در درازمدت بهترین خدمت به رفاه عمومی بوده، به اضافی برنامه‌ریزی راه‌ها و وسایل دسترسی به این استفاده‌ها می‌باشد.

laterite - لاتریت : یک لایه‌ی زیر سطحی غنی از آهن که در بعضی خاک‌های خیلی هوازده‌ی مناطق گرمسیر مرطوب یافت شده و در صورت مواجه شدن با هوا و خشک شدن بسیار سخت شده و با مرطوب کردن مجدد دیگر نرم نمی‌شود. وقتی فرسایش لایه‌های رویی را جدا می‌کند، لاتریت آشکار شده و یک سنگ‌فرش واقعی حاصل می‌گردد. به **plinthite** نیز مراجعه کنید.

layer (کانی شناسی رس) - لایه : ترکیبی از صفحات (چهار وجهی و ۸ وجهی) در رس‌های سیلیکاتی در آرایش ۱:۱، ۲:۱ و ۲:۱:۱

leaching - آبشویی: خارج کردن مواد از محلول خاک به وسیله‌ی فرونشست آب. به **eluviation** نیز مراجعه کنید.

leaching requirement - نیاز آبشویی: بخشی از آب آبیاری مورد نیاز برای آبشویی و ممانعت از افزایش شوری تا حد قابل تحمل زراعتی که باید کشت گردد.

legume - گیاه نیامدار: اعضای نیام‌دار از خانواده لگومینوزه، یکی از مهم‌ترین و گسترده‌ترین خانواده گیاهی که شامل بسیاری از گونه‌های باارزش غذایی و علوفه‌ای مانند نخود، لوبیا، بادام زمینی، شبدر، یونجه، شبدر شیرین، لپیدزیا، خلر و کودزو می‌باشد. تقریباً تمام نیامداران با موجودات تثبیت کننده نیتروژن همکار می‌باشند.

lichen - گلسنگ: رابطه‌ی همزیستی بین قارچ و سیانوباکتری (جلبک‌های آبی-سبز) می‌باشد که سبب ایجاد کلنی‌ها در کانی‌ها و سنگ‌های لخت می‌شود. قارچ آب و عناصر غذایی تأمین کرده و سیانوباکتری سبب تثبیت نیتروژن و تهیه کربوهیدرات از فرایند سوخت‌وساز نوری می‌شود.

Liebig's law - قانون لیبگ: رشد و تکثیر هر موجود زنده به وسیله‌ی عناصر غذایی (اکسیژن، کربن، گازکربنیک، کلسیم و غیره) که در کمترین مقدار در رابطه با نیاز آن موجود است مشخص می‌شود، به **limiting factor** مراجعه کنید.

light soil - (واژه‌ی فراموش شده) خاک سبک: یک خاک بافت درشت، خاکی با نیروی کششی لازم اندک برای شکنم زدن. به **coarse texture** و **texture** مراجعه کنید.

lime - (کشاورزی)، آهک: در واژه‌ی صریح شیمیایی، اکسید کلسیم است. در واژه‌ی عملی ماده‌ای که شامل کربنات‌ها، اکسیدها و یا هیدرواکسیدهای کلسیم و یا متیزیم بوده و برای خشتی کردن اسیدپته خاک به کار می‌روند.

lime requirement - نیاز آهک: جرم آهک کشاورزی و یا معادل آن از سایر مواد خاص آهک‌دادن، که برای بالا آوردن pH خاک به مقدار موردنظر در شرایط مزرعه لازم می‌باشد.

limestone - سنگ آهک: یک سنگ رسوبی که عمدتاً از کانی کلسیت (CaCO_3) ترکیب یافته است. اگر کانی دولومیت (CaCO_3 , MgCO_3) در مقادیر قابل ملاحظه موجود باشد به آن سنگ آهک دولومیتی گفته می‌شود.

limiting factor - عامل محدودکننده: به **Liebig's law** مراجعه کنید.

liquid limit - حد سیلان: به **Atterberg limit** مراجعه کنید.

lithosequence - خاک ردیف سنگی: گروهی از خاک‌های مربوطه که از نظر بعضی از خصوصیات خاص عمدتاً ناشی از مواد مادری به‌عنوان عامل خاک‌سازی از همدیگر متفاوت می‌باشند.

loam - لوم: نام بافت خاک که دارای مقادیر متوسط شن، لای و رس می‌باشد. خاک‌های لومی دارای ۲۷-۷۰ درصد رس، ۲۸ تا ۵۰ درصد لای و ۲۳ تا ۵۲ درصد شن می‌باشند.

loamy - لومی: خاکی که دارای بافت و خصوصیات حد واسط بین خاک‌های بافت ریز و بافت درشت می‌باشد. شامل تمام کلاس‌های بافت دارای کلمه لوم و یا لومی در بخشی از نام کلاس می‌باشند، مانند کلی لوم، لومی سند می‌باشند به **loam** و **soil texture** نیز مراجعه کنید.

lodging - ورس: واژگون شدن نبات چه بر اثر بیرون آمدن ریشه و چه بر اثر شکستن ساقه

loess - لس: موادی که به وسیله‌ی باد حمل و رسوب یافته است و ذرات در اندازه لای در آن‌ها غالب می‌باشد.

luxury consumption - جذب تجملی: میزان جذب عناصر غذایی بوسیله‌ی نبات بیشتر از مقدار مورد نیاز آن، برای مثال اگر پتاسیم در خاک زیاد باشد ممکن است یونجه از میزان مورد نیاز خود پتاسیم بیشتری جذب کند.

lysimeter - لیسیمتر: وسیله‌ای برای اندازه‌گیری هدر رفت میزان فرونشست (آبشویی) و تبخیر تعرق از یک ستون خاک در شرایط تحت نظر

macronutrent - عنصر پرمصرف: یک ماده‌ی شیمیایی که در مقادیر زیاد (معمولاً ۵۰ میلی گرم در کیلوگرم نبات) برای رشد نبات مورد نیاز می‌باشد. شامل S, Mg, Ca, K, P, N, O, H, C. (ماکرو به مقدار مصرف شده اشاره دارد نه به اساسی بودن عنصر) به **micronutrient** نیز مراجعه کنید.

macropores - بزرگ منافذ: منافذی که معمولاً دارای قطر بیشتر از ۰/۶ میلی متر بوده و آب به آسانی از داخل آن‌ها بر اثر گرانش زه کشی می‌شود.

- marl** - آهک رس : کربنات کلسیم نرم سفت نشده، معمولاً با مقادیر مختلف رس و سایر ناخالصی‌ها مخلوط است.
- marsh** - مرداب : مناطقی که به‌طور دوره‌ای مرطوب بوده و یا به‌طور مداوم غرقاب می‌گردند، سطح آن‌ها خیلی زیاد به زیر آب نمی‌رود. اغلب به‌وسیله‌ی جگن، لولی، نی و یا سایر گیاهان آب‌دوست پوشیده شده است. زیرکلاس‌های آن عبارتست از مانداب‌های شیرین و یا شور.
- mass flow** - جریان توده‌ای : حرکت عناصر غذایی همراه با جریان آب به ریشه‌های نباتات
- matric potetial** - پتانسیل ماتریک : به soil water potential مراجعه کنید.
- mature soil** - خاک بالغ : خاکی با اقی‌های کاملاً تکامل یافته بر اثر فرایندهای طبیعی خاک‌سازی و در تعادل با محیط فعلی خود
- maximum retentive capacity** - بیشینه‌ی ظرفیت نگهداری : میزان رطوبت متوسط یک نمونه‌ی به‌هم خورده‌ی خاک دارای یک سانتی‌متر ارتفاع که در تعادل با سفره‌ی آب در سطح پایین خود می‌باشد.
- mechanical analysis** - (واژه‌ی فراموش‌شده) تجزیه‌ی مکانیکی : به particle size analysis و particle size distribution مراجعه کنید.
- medium texture** - بافت متوسط : بافت (خاک) در حد واسط بافت ریز و بافت درشت که شامل کلاس‌های بافت به‌شرح زیر می‌باشد: شنی‌لوم‌ریز، لوم، لوم سیلتی و سیلت.
- melanic epipedon** - افق سطحی ملانیک : به diagnostic surface horizon مراجعه کنید.
- mellow soil** - خاک نرم : خاک بسیار نرم، بسیار ترد متخلل بدون هر تمایلی به سخت‌شدن و سفت‌شدن به consistence مراجعه کنید.
- mesic** - مزیک : به soil temperature classes مراجعه کنید.
- mesofauna** - میان‌زیگانان: حیوانات با اندازه متوسط تقریباً با قطر بین ۲ و ۰/۲ میلی‌متر
- metamorphic rock** - سنگ دگرگونی : سنگی که نسبت به شرایط قبلی خود بر اثر عمل مشترک حرارت و فشار بسیار تغییر یافته است. برای نمونه مرمر یک سنگ دگرگونی است که از سنگ آهک تشکیل شده است، گنیس از گرانیت و اسلیت از شیل تشکیل شده است.
- methane , CH₄** - متان: یک گاز بدون رنگ و بو که معمولاً در شرایط غیرهوازی ایجاد می‌شود. در صورت رهاشدن در نیوار فوقانی متان مسبب گرم‌شدن کره‌ی زمین می‌گردد. به greenhouse effect مراجعه کنید.
- micas** - میکاها : کانی‌های آلومینوسیلیکات اولیه که در آن‌ها دو صفحه سیلیس چهاروجهی در تناوب با یک صفحه آلومینیوم و یا منیزیم ۸ وجهی قرار گرفته است. آن‌ها به سهولت در صفحات آشکار و یا پوسته‌هایی از همدیگر جدا می‌شوند.
- microfauna** - ریز‌زیگانان : بخشی از جمعیت جانوری که شامل افرادی بسیار ریز بوده و بدون میکروسکوپ با وضوح دیده نمی‌شوند. شامل تک‌یاخته‌گان و نماتدها می‌باشد.
- micronutrient** - عناصر کم‌مصرف : یک عنصر شیمیایی که در مقادیر بسیار اندک (کمتر از ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم در بافت نبات) مورد نیاز رشد نبات می‌باشد نمونه‌ها شامل B، Cl، Cu، Fe، Mn و Zn می‌باشد (Micro به مقدار مصرف شده اشاره دارد نه به اساسی‌بودن عنصر). به macronutrient مراجعه کنید.
- micropores** - ریزمنافذ : منافذ نسبتاً کوچک خاک که معمولاً در داخل خاکدانه‌های ساختمانی وجود دارد و دارای قطر کمتر از ۰/۰۶ میلی‌متر می‌باشد، مغایر macropore می‌باشد.
- microrelief** - ریزناهمواری: اختلاف جزئی در پستی و بلندی محلی شامل برجستگی‌ها، گودی‌ها و چاله‌ها که فقط دارای قطر ۱ متر و یا کمتر و اختلاف ارتفاع تا ۲ متر می‌باشد به gilgai مراجعه کنید.
- mineralization** - معدنی‌شدن : تبدیل یک عنصر از شکل آلی آن به شکل معدنی در نتیجه تجزیه میکروبی
- mineral Soil** - خام معدنی : خاکی که عمدتاً از مواد معدنی تشکیل شده و خصوصیات آن به‌وسیله‌ی مواد معدنی مشخص می‌شود و معمولاً دارای کمتر از ۲۰ درصد ماده‌ی آلی بوده اما ممکن است دارای یک لایه‌ی آلی سطحی تا عمق ۳۰ سانتی‌متر باشد.
- minimum tillage** - کمینه خاک‌ورزی : به conservation , tillage مراجعه کنید.
- minor element** - (واژه‌ی فراموش‌شده) عنصر فرعی : به micronutrients مراجعه کنید.
- moderately coarse texture** - بافت نسبتاً درشت : عمدتاً شامل ذرات درشت می‌باشد. در طبقه‌بندی بافت خاک شامل لوم‌شنی‌ها به‌استثنای لوم شنی خیلی ریز می‌باشد. به coarse texture نیز مراجعه کنید.

- moderately fine texture** - بافت نسبتاً ریز: عمدتاً شامل ذرات در اندازه‌ی متوسط می‌باشد و یا دارای مقادیر نسبتاً کم ذرات درشت می‌باشد.
- در طبقه‌بندی بافت خاک شامل لوم‌رسی، لوم‌شنی، لوم‌رسی سیلتی می‌باشد. به **fine texture** نیز مراجعه کنید.
- moisture equivalent** - (واژه‌ی فراموش‌شده) رطوبت معادل: درصد وزنی آب نگهداری شده به‌وسیله‌ی یک نمونه‌ی از قبل اشباع شده با ضخامت ۱ سانتی‌متر بعد از قرارگرفتن تحت نیروی گریز از مرکز ۱۰۰۰ برابر نیروی ثقل برای ۳۰ دقیقه.
- moisture potential** - پتانسیل رطوبت: به **soil water potential** مراجعه کنید.
- mole drain** - زه‌کش لانه موشی: زه‌کش بدون پوشش که با کشیدن یک استوانه‌ی گلوله‌ای شکل در داخل خاک ایجاد می‌شود.
- mollic epipedon** - افق سطحی مولیک: به **diagnostic surface horizon** مراجعه کنید.
- Mollisols** - خاک‌های مولی‌سول: به **soil classification** مراجعه کنید.
- montmorillonite** - رس مونتموریلونیت: کانی آلومینوسیلیکات رسی در گروه اسمکتیت با شبکه‌ی بلوری قابل انبساط ۲:۱ با دو لایه سیلیس چهاروجهی که یک صفحه آلومینوم ۸ وجهی را در میان گرفته‌اند تشکیل شده است. جانشینی هم‌شکل متیزیم برای بعضی از اتم‌های آلومینوم در صفحه ۸ وجهی صورت می‌گیرد. ممکن است انبساط قابل ملاحظه‌ای به‌وسیله‌ی حرکت آب در بین صفحه‌های سیلیس در لایه‌های مجاور صورت گیرد.
- mor** - هموس خام: نوعی از هموس جنگلی که در آن مواد آلی مخلوط نشده است، معمولاً به‌صورت فرش مانند و یا متراکم و یا هر دو درآمده است. از خاک معدنی قابل تمیز است مگر این که خاک معدنی در اثر آبشویی شدن مواد آلی به‌داخل آن تیره شده باشد.
- moraine** - مورن (یخرفت): تجمع مواد یخرفت با پستی و بلندی اولیه مربوط به خود که در یک منطقه یخچالی عمدتاً به‌وسیله‌ی عمل مستقیم یخ ایجاد می‌شود نمونه‌ها شامل یخرفت‌های زمینی، جانبی، عقب‌نشینی و انتهایی می‌باشند.
- morphology , soil** - مورفولوژی، خاک: نظام و وضع طبیعی خاک شامل بافت، ساختمان، پایداری، رنگ و دیگر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی افق‌های مختلف خاک که خاکریز ایجاد می‌کنند.
- mottling** - رنگین دانه‌ها: نقطه‌ها و لکه‌هایی با رنگ متفاوت و یا سایه‌های رنگ که در داخل رنگ غالب پراکنده شده باشد.
- mucigel** - لعاب ریشه: مواد ژلاتینی موجود در سطح ریشه‌ها در خاک ضدعفونی‌شده
- muck** - ماک، سیاه‌پوده: مواد آلی شدیداً تجزیه شده که در آن بخش‌های اصلی نبات قابل تشخیص نبوده و درمقایسه با پست دارای سواد معدنی بیشتر، و رنگ تیره‌تری می‌باشد. به **peat , muck soil** مراجعه کنید.
- mulch** - مالچ، خاک‌پوش: هر نوع موادی مانند کاه، خاکاره، برگ، لایه‌های پلاستیکی و خاک نرم که برروی سطح خاک برای محافظت خاک و ریشه نبات از اثرات قطرات باران، سله‌بندی، یخ‌زدن، تبخیر و غیره توزیع می‌شود.
- mulch tillage** - خاک‌ورزی مالچ: به **conservation , tillage** مراجعه کنید.
- mull** - مول: لایه غنی از هموس در خاک‌های جنگلی شامل مخلوط ماده‌ی آلی و مواد معدنی می‌باشد. مول با لایه‌های فوقانی خاک‌های معدنی بدون تغییر شدید در خصوصیات خاک مخلوط می‌شود.
- Munsell color system** - نظام رنگ مونسل: یک نظام تشخیص رنگ که میزان نسبی سه متغیر ساده‌ی رنگ را به‌شرح زیر مشخص می‌سازد:
- Chroma** - کروما: خلوص نسبی، قدرت و یا درجه اشباع یک رنگ.
- Hue** - هیو: درجه‌بندی رنگی (رنگین‌کمان) نوری که به چشم می‌رسد.
- Valu** - ولیو: درجه روشن‌بودن یا تیره‌بودن رنگ.
- Mycelium** - توده‌ی ریشه: توده نخ‌مانند از ریشه قارچ‌ها و یا اکتینومیسیت‌ها
- Mycorrhiza** - قارچ-ریشه: همکاری، معمولاً به‌صورت همزیستی بین قارچ‌ها با ریشه‌ی گیاهان. به **vesicular arbuscular mycorrhiza** , **endotrophic mycorrhiza** مراجعه کنید.
- natric horizon** - افق ناتریک: به **diagnostic subsurface horizon** مراجعه کنید.
- necrosis** - بافت‌مردگی: مرگ همراه با بی‌رنگ‌شدن و خشک‌شدن تمام یا قسمتی از اندام نبات مانند برگ‌ها.
- nematodes** - نماتدها: کرم‌های بسیار کوچک که در بسیاری از خاک‌ها فراوان بوده و به‌خاطر حمله و از بین‌رفتن ریشه گیاهان به‌وسیله‌ی بعضی از آن‌ها مهم می‌باشند.

- neutral soil** - خاک خنثی : خاکی که لایه سطحی آن حداقل تا عمق معمول شخم از نظر واکنش اسیدی، و بازی نمی‌باشد. در عمل این به معنی آن است که خاک دارای pH $7/3 - 7/6$ است. به **alkaline soil** ؛ **acid soil** ؛ **reaction, soil** مراجعه کنید.
- nitrate depression period** - دوره‌ی کساد نیترات : دوره‌ی زمانی که به زودی پس از افزودن مواد آلی تازه دارای کربن زیاد به خاک آغاز می‌شود. طی آن ریزجاندانان تجزیه‌کننده، اکثر نیتروژن قابل استفاده را از محلول خاک برداشت می‌کنند.
- nitrification** - نیتراتی شدن : اکسایش زیست‌شیمیایی آمونیوم به نیترات که اغلب به‌وسیله‌ی باکتری‌های اتوتروف انجام می‌شود.
- nitrogen assimilation** - جذب و هضم نیتروژن : شرکت دادن نیتروژن در مواد یاخته‌ای آلی به‌وسیله‌ی موجودات زنده.
- nitrogen cycle** - چرخه‌ی نیتروژن : توالی تغییرات شیمیایی و زیستی نیتروژن در حرکت آن از نیوار به داخل آب، خاک و موجودات زنده که پس از مرگ این موجودات (گیاهان و جانوران) از طریق بخشی و یا تمام فرایند در بازچرخ قرار می‌گیرند.
- nitrogen fixation** - تثبیت نیتروژن: تبدیل زیستی نیتروژن عنصری (N_2) به ترکیبات اشکالی آلی که در فرایندهای زیستی به آسانی قابل استفاده می‌باشند.
- nodule bacteria** - باکتری‌های تشکیل‌دهنده‌ی گره: به **rhizobia** مراجعه فرماید.
- nonhumic substances** - مواد غیرهومیکی : بخشی از ماده‌ی آلی که از مواد آلی با وزن مولکولی کم، که عمدتاً مولکول‌های زیستی در آن قابل تشخیص می‌باشند، تشکیل شده است.
- no-tillage** - نبود خاک‌ورزی: به **conservation, tillage** مراجعه کنید.
- nucleic acids** - اسیدهای نکلئیک : اسیدهای آلی مرکب که در هسته‌ی یاخته گیاهان و جانوران یافت می‌شود، ممکن است در ترکیب با پروتئین‌ها و یا نکلئوپروتئین‌ها باشد.
- O horizon** - افق O : افق آلی خاک‌های معدنی.
- ochric epipedon** - افق سطحی اکریک : به **diagnostic surface horizon** مراجعه کنید.
- octahedral sheet** - ورقه‌ی ۸ وجهی : صفحاتی که به‌طور افقی اتصال یافته‌اند، واحدهای اکتاهیدرال که به‌عنوان اجزای اصلی ساختمانی کانی‌های سیلیکاتی (رس) عمل می‌کنند. هر واحد از یک اتم فلزی مرکزی (مثلاً Al, Mg و یا Fe) که در ۶ جهت با ۶ گروه هیدرواکسیل احاطه شده به تعادل رسیده است، این هیدرواکسیل‌ها با اتم‌های فلزی مجاور نیز ارتباط یافته‌اند. بنابراین، به‌عنوان اتصال بین لایه‌ای که این صفحات را به هم وصل می‌کند عمل می‌کنند.
- oligotrophic** - کم‌پرور : محیط‌هایی مانند خاک و دریاچه‌ها که از نظر عناصر غذایی فقیر می‌باشند.
- order soil** - راسته‌ی خاک : به **soil classification** مراجعه کنید.
- organic fertilizer** - کود آلی : محصول فرعی حاصل از فراوری مواد گیاهی و حیوانی که داری مقادیر کافی عناصر غذایی بوده و می‌تواند همانند کودهای شیمیایی باارزش باشد.
- organic soil** - خاک آلی : خاکی که بیش از نصف ضخامت خاک‌رخ از مواد خاکی آلی تشکیل شده باشد.
- organic soil material** - خاک‌ماده‌های آلی (مطابق رده‌بندی خاک ایالت متحده): ۱- برای مدت‌های طولانی از آب اشباع باشند، مگر آن‌که به‌طور مصنوعی زه‌کشی شوند. دارای ۱۸ درصد وزنی و یا بیشتر کربن آلی در صورتی که بخش معدنی دارای بیش از ۶۰ درصد رس، و دارای بیشتر از ۱۲ درصد کربن آلی اگر بخش معدنی دارای رس نباشد، و یا بین ۱۲ و ۱۸ درصد کربن آلی وقتی درصد رس در بخش معدنی از ۰ تا ۶۰ باشد. ۲- برای بیش از چند روز هرگز از آب اشباع نبوده و دارای بیش از ۲۰ درصد کربن آلی باشد. هستوسول‌ها بر روی این مواد خاکی آلی تکامل می‌یابند سه نوع ماده‌ی آلی موجود است:
- fibric materials** - مواد الیافی : دارای کمترین تجزیه در بین مواد خاکی آلی می‌باشد، دارای مقادیر زیاد الیاف بوده که به خوبی نگهداری شده و به آسانی منشاء گیاه‌شناسی آن قابل تشخیص است.
- hemic materials** - مواد نیمه‌تجزیه‌شده : درجه‌ی تجزیه‌ی مواد آلی در حد متوسط است.
- sapric Materials** - مواد تجزیه‌شده : دارای بیشترین تجزیه در بین مواد خاکی آلی می‌باشد، دارای بالاترین وزن مخصوص ظاهری، کمترین مواد الیافی و کمترین میزان آب هنگام اشباع می‌باشد.
- ortstein** - سخت لایه آهن و هموس : یک لایه سخت شده در افق B خاک‌های اسپدوسول که در آن‌ها مواد سیمان‌کننده شامل سزکی اکسیدهای آبشویی شده (عمدتاً آهن) و ماده‌ی آلی می‌باشد.

osmotic pressure- فشار اسمزی : فشار اعمال شده در اجسام زنده در نتیجه غلظت نامساوی نمک‌ها در دو طرف دیواره‌ی یاخته یا غشاء آب از منطقه‌ای که دارای غلظت کمتر نمک است از طریق غشاء تراوا به منطقه‌ای که دارای غلظت نمک بیشتری است حرکت کرده. و بنابراین، سبب ایجاد فشار بیشتری در قسمتی که دارای غلظت نمک بیشتری است می‌شود.

outwash plain- دشت فرسایشی: رسوب مواد دانه‌درشت (شن و سنگ‌ریزه) به‌جای‌مانده به‌وسیله‌ی رودهای حاصل از ذوب یخ پس از عقب‌نشینی یخچال‌ها.

oven-dry soil- خاک خشک کوره : خاکی که در ۱۰۵ درجه حرارت تا رسیدن به وزن ثابت خشک شده است.

oxic horizon- افق اکسیک : به **diagnostic subsurface horizon** مراجعه کنید.

oxidation- اکسایش : از دست‌رفتن الکترون به‌وسیله‌ی یک ماده، و بنابراین کسب ظرفیت مثبت. در بعضی مواقع به ترکیب شیمیایی با گاز اکسیژن گفته می‌شود.

oxidation ditch- نهراکسایش : یک آبراهه‌ی مصنوعی برای هضم نسبی مواد آلی مایع که در آن‌ها فضولات در چرخش قرار گرفته و به‌وسیله‌ی یک وسیله مکانیکی هوا داده می‌شود.

oxisols- خاک‌های اکسی‌سول : به **soil classification** مراجعه کنید.

pans- سخت لایه‌ها : افق‌ها و یا لایه‌هایی از خاک که به شدت متراکم و یا سخت گردیده و یا دارای مقدار رس زیادی می‌باشند. به **hardpan, fragipan, claypan, caliche** مراجعه کنید.

parent material- مواد مادری : کانی‌ها و یا مواد آلی نامتراکم و کم‌ویش با هوا دیدگی شیمیایی که از آن افق‌های خاک در اثر فرایندهای خاک‌سازی ایجاد شده‌اند.

particle density- چگالی حقیقی : جرم در واحد حجم ذرات خاک، در کارهای فنی معمولاً به صورت تن متریک در متر مکعب (Mg/m^3) و یا گرم در سانتی‌متر مکعب (g/Cm^3) بیان می‌شود.

particle size- اندازه ذرات: قطر موثر یک ذره به‌وسیله‌ی ته‌نشینی، الک کردن و با روش‌های ریزسنجی تعیین می‌شود.

particle size analysis- تجزیه‌ی اندازه ذرات: تعیین مقادیر مختلف اجزاء خاک در یک نمونه، معمولاً به‌وسیله‌ی ته‌نشینی، الک کردن، ریزسنجی و با ترکیبی از این روش‌ها.

particle size distribution- توزیع اندازه‌ی ذرات: مقادیر اجزای مختلف خاک در یک نمونه خاک که معمولاً برحسب درصد وزنی بیان می‌شود.

partitioning- تفکیک کردن : توزیع مواد شیمیایی (مانند آلاینده‌ها) به بخش‌هایی که در ماده‌ی آلی حل می‌شوند. و بخش‌هایی که در محلول خاک نامحلول باقی می‌مانند.

pascal- پاسکال : واحد فشار در نظام SI که مساوی یک نیوتن در مترمربع است.

peat- پیت، تورب : مواد خاکی نامتراکم که عمدتاً از ماده‌ی آلی تجزیه‌نشده، و یا اندک تجزیه‌شده، که در شرایط رطوبت زیاد تجمع یافته است تشکیل شده باشد به **peat soil, organic soil material** مراجعه کنید.

peat soil- خاک پیت : یک خاک آلی که دارای بیش از ۵۰ درصد ماده‌ی آلی است. در ایالات متحده این واژه به مرحله تجزیه ماده‌ی آلی اشاره دارد. پیت بیانگر تجزیه اندک و یا عدم تجزیه رسوبات و ماک بیانگر مواد به شدت تجزیه شده می‌باشد. به **peat, muck soil muck** نیز مراجعه کنید.

ped- خاک واحد: واحدی از ساختمان خاک مانند گرد دانه‌ای، اسفنجی، مکعبی که به‌وسیله‌ی فرایندهای طبیعی ایجاد شده است (مغایر با آن کلوخه است که به طور مصنوعی ایجاد شده است).

pedon- پدون : کوچک‌ترین حجمی که بتوان آن را خاک نامید، دارای سه بُعد است و تا عمق ریشه گیاهان و یا حد پایین افق‌های توارثی خاک تداوم یافته است. مقطع عرضی جانبی آن تقریباً ۶ وجهی بوده و اندازه‌ی آن بسته به تغییرات در افق‌ها از ۱ تا ۱۰ متر مربع می‌باشد.

pedoturbation- زیر و رو شدن خاک : به هم خوردن و یا مخلوط شدن افق‌های خاک به طور فیزیکی به‌وسیله‌ی نیروهای مانند حیوانات حفار (مخلوط شدن جانوری) و یا گردش یخ (مخلوط شدن یخ)

penplain- دشت سر : یک منطقه مرتفع مضرس، که به‌وسیله‌ی فرسایش به یک سطح دارای شیب آرام که مشابه به دشت می‌باشد تبدیل شده است.

penetrability- قابلیت نفوذ: سهولت فشار دادن یک میله به داخل خاک می‌باشد. ممکن است در واحد فاصله، سرعت، و یا کار بسته به نوع نفوذسنج به کار رفته بیان شود.

penetrometer- نفوذ سنج: وسیله‌ای که از یک میله با نوک مخروطی مانند، و وسیله‌ای برای اندازه‌گیری نیروی لازم برای فشار دادن آن به داخل عمق مشخص خاک تشکیل شده است.

percolation, soil water- فرونشست آب خاک: حرکت رو به پایین آب از داخل خاک. به‌خصوص حرکت رو به پایین آب در خاک اشباع در شیب‌های آبی ۱ و یا کمتر.

percolation test- آزمایش فرونشست: اندازه‌گیری میزان فرونشست در خاک‌رخ، معمولاً جهت تعیین تناسب خاک برای استفاده در میدان زه‌کشی مخزن فاضلاب به‌کار می‌رود.

perc test- آزمایش فرونشست: به **percolation test** مراجعه کنید.

perforated plastic pipe- لوله‌ی مشبک پلاستیکی: لوله‌ای که در بعضی موارد قابل انعطاف بوده، و دارای منافذ و یا شکاف‌هایی می‌باشد که امکان عبور و تخلیه هوا و آب را فراهم می‌کند. برای زه‌کشی خاک و پخش پساب در داخل خاک به‌کار می‌رود.

permafrost- یخبندان دائمی: ۱- ماده یخ‌زده دایم در زیر خاک ۲- یک افق یخ‌زده دایمی خاک

permanent charge- بار دایمی: به **constant charge** مراجعه کنید.

permanent wilting point- نقطه‌ی پژمردگی دایم: به **wilting point** مراجعه کنید.

permeability, soil- نفوذپذیری خاک: سهولت دخول گازها، مایعات و ریشه‌ی گیاهان و با عبور آن‌ها از درون کل خاک و یا لایه‌ای از آن.

petroclastic horizon- افق پتروکلیسیک: به **diagnostic subsurface horizon** مراجعه کنید.

petrogypsic horizon- افق پتروگیپسیک: به **diagnostic subsurface horizon** مراجعه کنید.

pH, soil خاک: لگاریتم منفی فعالیت (غلظت) یون هیدروژن خاک. درجه‌ی اسیدیته (و یا قلیائیت) خاک که به‌وسیله‌ی الکتروود شیشه‌ای و یا الکترودهای مناسب دیگر و یا معرف‌های شیمیایی در میزان رطوبت و یا نسبت خاک به آب خاص تعیین می‌شود و در مقیاس pH بیان می‌گردد.

phase, soil- فاز خاک: تقسیمات فرعی سری خاک و یا سایر واحدهای طبقه‌بندی که دارای خصوصیات هستند که در استفاده و مدیریت خاک موثر بوده اما چنان تغییر نمی‌کند که به‌صورت سری جداگانه تفکیک گردند. این خصوصیات عبارت از درجه‌ی شیب، درجه‌ی فرسایش و میزان سنگ می‌باشند.

pH-dependent charge- بار وابسته به pH: آن بخش از بار دایم کلویدهای خاک که با pH تحت تأثیر قرار گرفته و تغییر می‌کند.

photomap- نقشه‌ی هوایی: نقشه موزاییک حاصل از عکس‌های هوایی که به آن اسامی محل‌ها، اطلاعات اضافی و سایر اطلاعات نقشه اضافه شده است.

Phyllosphere- گیاه کره: سطح برگ

physical properties (of soil)- خصوصیات فیزیکی (خاک): آن دسته از خصوصیات، فرایندها و یا واکنش‌های خاک که به‌وسیله‌ی نیروهای فیزیکی ایجاد شده و می‌تواند به‌وسیله‌ی واژه‌ها و یا معادلات فیزیکی تشریح و یا بیان گردد. نمونه‌های از خصوصیات فیزیک عبارتند از: وزن مخصوص ظاهری، ظرفیت نگهداری آب، هدایت آبی، تخلخل، توزیع اندازه‌ی منافذ و غیره می‌باشد.

phytotoxic substances- گیاه سم‌ها: مواد شیمیایی سمی برای گیاهان.

placic horizon- افق پلاسیک: به **diagnostic subsurface horizon** مراجعه کنید.

plaggen epipedon- افق پلاگن: به **diagnostic surface horizon** مراجعه کنید.

plant nutrients- عناصر غذایی: به **essential nutrients** مراجعه کنید.

plastic limit (PL)- حد شکل پذیری: به **Atterberg limits** مراجعه کنید.

plastic soil- خاک شکل پذیر: خاکی که قابلیت شکل‌پذیری و یا تغییر شکل را به‌طور مداوم و همیشگی در اثر فشار متوسط به اشکال مختلف دارا باشد، **consistence** را نیز مشاهده کنید.

platy- بشقابی: شامل خاکدانه‌هایی می‌باشد که اغلب در طول محور افقی ایجاد شده‌اند، خاکدانه‌های قلسی، ورقه‌ورقه‌ای.

plinthite (brick)- پلینایت (آجر): مخلوط بسیار هوادیده سزکی اکسیدهای آهن و آلومینیوم با کوارتز و یا سایر مواد رقیق‌کننده که به‌صورت نقطه‌ای قرمز مشاهده شده و در اثر خشک‌شدن و مرطوب‌شدن متناوب به طبقه سخت غیرقابل برگشت تبدیل می‌شود.

- plow layer** - لایه‌ی شخم : خاکی که به طور معمول با شخم مزرعه تغییر مکان می‌یابد، معادل surface soil می‌باشد.
- plow pan** - سخت کف‌ی شخم : لایه‌ای از خاک شخم که دارای وزن مخصوص ظاهری بالا و تخلخل کل کمتری از لایه‌های رویی و یا زیرین خود می‌باشد. این لایه در نتیجه فشار اعمال شده بر اثر خیش معمولی و سایر ادوات خاک‌ورزی ایجاد می‌شود.
- plow-plant** - شخم - کشت : conservation, tillage را مشاهده کنید.
- plowing** - شخم زدن : عملیات اولیه‌ی خاک‌ورزی گسترده که برای خرد کردن یکنواخت خاک یا برگرداندن کامل و یا نسبی آن انجام می‌گردد.
- point of zero charge** - نقطه‌ی بار صفر : pH محلول در تعادل با ذرات جامد که خالص بار آن‌ها از تمام منابع صفر باشد.
- polypodon** - پلی پدون: دو و یا چند پدون مجاور که تمام آن‌ها در محدوده تعریف شده یک سری خاک جای می‌گیرند. معمولاً به آن‌ها soil individual گفته می‌شود.
- pore size distribution** - توزیع اندازه‌ی روزنه‌ها: حجم منافذ خاک در اندازه‌های مختلف بر حسب حجم کل خاک (حجم خاک به اضافه حجم روزنه‌ها) بیان می‌شود.
- porosity, soil** - تخلخل خاک : درصد حجمی از کل حجم خاک که به وسیله‌ی ذرات جامد اشغال نشده باشد.
- preferential flow** - جریان ترجیحی : حرکت غیریکنواخت آب و مواد محلول آن در داخل خاک در طول مسیرهای مشخص که اغلب منافذ درشت می‌باشد.
- primary consumer** - مصرف‌کننده‌ی اصلی : جاننداری که بر روی مواد گیاهی زندگی می‌کند.
- primary mineral** - کانی اولیه : یک کانی که از هنگام ته‌نشینی و بلوری شدن گدازه مذاب به طور شیمیایی تغییر نیافته باشد.
- primary producer** - تولیدکننده‌ی اصلی : یک موجود زنده (معمولاً گیاه قادر به سوخت‌وساز نوری) که ایجاد مواد آلی پرانرژی از مواد شیمیایی معدنی، انرژی آفتاب و آب می‌کند.
- Primary tillage** - خاک‌ورزی اولیه : به tillage, primary مراجعه کنید.
- primary effect** - اثر تحریکی: افزایش تجزیه در هموس نسبتاً پایدار خاک بر اثر ارتقای خیلی زیاد فعالیت زیستی، به دنبال اضافه کردن مواد آلی تازه به خاک صورت می‌گیرد.
- prismatic soil structure** - ساختمان منشوری خاک : نوعی از ساختمان خاک با خاکدانه‌های منشورمانند که دارای محور قائم بسیار بلندتری از محور افقی می‌باشد
- procaryote** - پروکاریوت: یک موجود زنده که یاخته‌ی آن هسته مشخص ندارد.
- proctor test** - آزمایش پروکتور : عملیات آزمایشگاهی که مشخص‌کننده‌ی بیشینه‌ی مقدار وزن مخصوص ظاهری قابل دسترس در یک خاک و بهینه‌ی مقدار آب برای تراکم یک خاک می‌باشد.
- productivity, soil** - باروری خاک : ظرفیت یک خاک برای تولید نبات مخصوص و یا نباتات مخصوص در توالی با همدیگر در یک نظام مدیریتی می‌باشد. این واژه بر ظرفیت خاک در تولید نبات تأکید دارد و نباید در قالب عملکرد بیان شود.
- profile, soil** - خاک‌رخ : مقطع قائم خاک از داخل تمام افق‌های آن که تا ماده‌ی مادری ادامه دارد.
- protein** - پروتئین : هر گروه از ترکیبات آلی نیتروژن‌دار که با پلیمریزه شدن تعداد زیادی از مولکول‌های اسید آمینه تشکیل شده و به دنبال آب‌کافت، اسید آمینه ایجاد می‌کند. بخش اساسی مواد زنده بوده و یکی از مواد اساسی غذایی حیوانات می‌باشد.
- protonation** - پروتون‌ی شدن : چسبیدن پروتون (H⁺) به گروه‌های OH بر روی سطح ذرات خاک که سبب ایجاد بار کلی مثبت بر روی سطح ذره می‌شود.
- protozoa** - تک‌یاخته گان : یک موجود تک‌یاخته‌ای بدون هسته مانند آمیب‌ها.
- puddled soil** - خاک شله‌زده، خاک گل‌خواب : یک خاک متراکم، سنگین که هنگام مرطوب‌بودن متراکم شده و دارای ساختمان خاکدانه‌ای نمی‌باشد. این شرایط معمولاً در اثر انجام عملیات خاک‌ورزی در یک خاک رس مرطوب ایجاد می‌شود.
- rain, acid** - باران اسیدی : به acid rain مراجعه کنید.
- reaction, soil** - واکنش خاک : درجه‌ی اسیدیته و یا قلیائیت خاک معمولاً بر حسب مقدار pH و یا به صورت واژه‌هایی که از اسیدته خیلی شدید برای ۴/۵ < pH تا قلیائیت شدید برای ۹ > pH تغییر می‌کند. بیان می‌گردد.

recharge area - منطقه‌ی تغذیه: یک منطقه‌ی جغرافیایی که در آن یک آبخوان بسته مواجه با نفوذ و تراوش سطحی آب برای تغذیه‌ی آب زیرزمینی آن می‌باشد.

redox concentrations - غلظت اکسید احیایی: مناطق با تراکم اکسیدهای Fe و Mn در خاک.

redox depletions - تخلیه‌ی اکسید احیایی: مناطق با کرومای پایین (< 2) که در آن اکسیدهای Fe و Mn و بعضی مواقع رس به‌صورت نوارهایی از خاک جدا شده‌اند.

redoximorphic features - چهره‌های اکسید احیایی: خصوصیات خاک همراه با مرطوب‌بودن که در نتیجه احیاء و اکسایش ترکیبات آهن و منگنز بعد از اشباع خاک و خارج شدن آن از اشباع به وجود می‌آید. Redox depletion, redox concentrations را مشاهده کنید.

redox potential - پتانسیل اکسید احیایی: پتانسیل الکتریکی (که بر حسب ولت یا میلی‌ولت اندازه‌گیری می‌شود). یک نظام به خاطر تمایل مواد آن برای کسب و یا از دست دادن الکترون.

reduction - احیاء: کسب الکترون، و بنابراین از دست دادن ظرفیت بار مثبت به‌وسیله‌ی یک ماده. در بعضی موارد از دست دادن اکسیژن و یا کسب هیدروژن را نیز شامل می‌شود.

regolith - رگولیت، سنگ‌پوش: پوشش مواد نامتراکم از سنگ‌های هوادیده و مواد خاکی در سطح خاک؛ مواد سست خاکی در روی سنگ سخت (تقریباً معادل واژه‌ی خاک است که به‌وسیله‌ی بسیاری از مهندسين به کار می‌رود).

relief - پستی و بلندی: اختلاف نسبی در ارتفاع بین رأس برجستگی‌ها و اراضی پست و یا دره‌ها در یک منطقه‌ی مشخص.

residual material - مواد در جا: مواد معدنی غیرمتراکم و نسبتاً هوا دیده که پراثر تجزیه‌ی سنگ سخت متراکم در محل تشکیل شده باشد.

rhizobia - ریزوبیا: باکتری‌هایی که قادرند با گیاهان عالی به‌صورت همزیست زندگی کنند. معمولاً به صورت گره‌هایی بر روی ریشه‌ی نیامداران انرژی خود را کسب کرده و دارای قابلیت تبدیل نیتروژن نیوار به اشکال مرکب آلی می‌باشند. بنابراین، واژه‌ی باکتری‌های همزیست تثبیت‌کننده نیتروژن (از نام *Rhizobium* اشتقاق یافته) به آن‌ها اطلاق می‌شود.

rhizosphere - ریزوسفر (فرا ریشه): آن بخش از خاک که بلافاصله در مجاورت ریشه‌ی نباتات بوده که در آن فراوانی و ترکیب جمعیت میکروبی تحت تأثیر حضور ریشه می‌باشد.

rill - شیار: مسیر جریان کوچک، و متناوب آب با دیواره‌های شیب‌دار، که فقط چند سانتی‌متر عمق داشته و ممانعتی در انجام عملیات خاک‌ورزی ایجاد نمی‌کند.

rill erosion - فرسایش شیاری: erosion را مشاهده کنید.

riparian zone - زمین کرانه‌ای، محدوده‌ی رودخانه‌ای: مناطق در بالا و پایین سطح زمین که در حاشیه یک رودخانه قرار گرفته است.

riprap - پوشش سنگی: سنگ‌های شکسته، قله‌سنگ‌هایی که در سطح زمین مانند سطح یک سد و یا ساحل یک رودخانه برای محافظت آن در مقابل نیروی موج آب جایگذاری شده است، این واژه همچنین برای پوشش‌های سرشاخه و تیرهای چوبی و یا سرشاخه و سنگ و یا سایر مواد مشابه که برای مهار فرسایش خاک به کار می‌روند، مورد استفاده می‌باشد.

rock - سنگ: موادی که بخش اصلی پوسته‌ی سخت زمین را تشکیل می‌دهند، شامل توده‌های سست ناپیوسته مانند شن و سنگ‌ریزه و همین‌طور توده‌های متراکم گرانیت و سنگ آهک می‌باشد.

root interception - جذب ریشه: دسترسی به عناصر غذایی به‌وسیله‌ی ریشه پراثر رشد ریشه به نزدیکی منبع غذایی.

root nodules - گره ریشه: بخش‌های متورم‌شده بر روی ریشه‌ی نبات. اغلب آن‌هایی که ریزجانداران همزیست زندگی می‌کنند مورد نظر می‌باشد.

rotary tillage - خاک‌ورزی دوار: به tillage, rotary مراجعه کنید.

runoff - رواناب: بخشی از بارندگی در یک منطقه که از طریق آبراه رودخانه از منطقه خارج می‌شود به آن بخش که بدون وارد شدن به خاک از بین می‌رود surface runoff گفته می‌شود. و آن بخش که بدون رسیدن به رودخانه داخل خاک می‌شود seepage flow, ground water runoff ناشی از آب زیرزمینی می‌باشد. در خاک شناسی رواناب معمولاً به آب از دست رفته به‌وسیله‌ی جریان سطحی اشاره دارد. در زمین‌شناسی و هیدرولیک رواناب معمولاً شامل جریان سطحی و زیرسطحی می‌باشد.

salic horizon - افق سالیک: به diagnostic subsurface horizons مراجعه کنید.

saline-sodic soil- خاک شور-سدیمی: خاکی که دارای مقادیر کافی سدیم قابل تبادل برای مزاحمت در رشد اکثر نباتات بوده و دارای مقادیر قابل توجهی نمک‌های محلول می‌باشد نسبت سدیم قابل تبادل (SAR) بیشتر از ۱۳ بوده و هدایت الکتریکی عصاره اشباعی آن بزرگ‌تر از ۴ دسی‌زیمنس در متر می‌باشد. pH در عصاره اشباعی معمولاً کمتر از ۸/۵ می‌باشد.

saline soil- خاک شور: خاک غیرسدیمی که دارای نمک کافی برای از بین رفتن توان تولید آن است. هدایت الکتریکی عصاره اشباعی از ۴ دسی‌زیمنس در متر بیشتر است نسبت سدیم قابل تبادل کمتر از ۱۳ و pH کمتر از ۸/۵ است.

saline seep- شور نشست: یک منطقه که آب شور با نشست در سطح خاک ظاهر شده و در اثر تبخیر آب مقدار زیادی تراکم نمک به جای می‌گذارد.

salization- شورشدن: فرایند تراکم نمک در خاک.

saltation- پرش: حرکت ذرات در آب و باد که در آن ذرات در طول بستر جریان و یا سطح خاک بالا و پایین جست‌وخیز می‌کنند.

sand- شن و ماسه: ذرات خاک با قطر ۰/۰۵-۲ میلی‌متر، یک نوع بافت خاک.

sapric material- مواد پوسیده: به **organic soil material** مراجعه کنید.

saprolite- سنگ پوسیده: سنگ بستری که درجا دچار هوازدگی شده، به‌طوری‌که متخلخل شده و می‌تواند با بیل حفر گردد.

saturated past extract- عصاره گل اشباع: عصاره حاصل از گل اشباع، که هدایت الکتریکی (EC) آن به‌طور غیرمستقیم بیانگر میزان نمک خاک می‌باشد.

saturation extract- عصاره‌ی اشباعی: محلول خارج شده از گل اشباع خاک

saturation Percentage- درصد اشباع: میزان آب یک گل اشباع خاک بر حسب درصد وزن خشک.

savanna (savannah)- ساوانا: اراضی مرتعی با درختان پراکنده چه به‌صورت انفرادی و یا چندتایی. اغلب حالت انتقالی بین مراتع واقعی و جنگل می‌باشد.

secondary mineral- کانی ثانویه: کانی حاصل از تجزیه‌ی یک کانی اولیه و یا ترسیب مجدد مواد حاصل از تجزیه‌ی کانی‌های اولیه. به **primary mineral** مراجعه کنید.

second bottom- دومین سطح: اولین پادگانه در بالای سیلدشت یک رودخانه.

sediment- رسوب، نهشته: ذرات انتقال یافته و ته‌نشین شده و یا خاکدانه‌های حاصل از خاک‌ها، سنگ‌ها و مواد زیستی.

sedimentry rock- سنگ رسوبی: سنگ حاصل از مواد ته‌نشین شده از محلول معلق و یا ترسیب شده از مواد محلول که معمولاً کم‌وبیش تحکیم یافته است. سنگ‌های عمده رسوبی عبارتند از ماسه سنگ، شیل، سنگ آهک و کنگلومرا.

seedbed- بستر بذر: خاکی که برای اورتقای جوانه‌زدن بذر و ریشه‌ی نهال‌ها آماده شده است.

self mulching soil- خاک خود پوش: خاکی که در آن لایه سطحی چنان به‌خوبی خاکدانه‌ای شده باشد که بر اثر ضربات باران سله سخت و نرم ایجاد نکرده و پس از خشک شدن به عنوان یک خاک‌پوش سطحی عمل کند.

semiarid- نیمه خشک: واژه‌ای که برای اقالیم و یا مناطقی به کار می‌رود که رطوبت آن بسیار بیشتر از مناطق خشک است اما هنوز رشد اکثر نباتات را به طرز مشخص دچار محدودیت می‌کند. پوشش طبیعی در مناطق اصلی گیاهان چمنی کوتاه است.

separate soil- گروه اندازه‌های خاک: یکی از گروه‌های اندازه‌ی انفرادی ذرات خاک‌های معدنی مانند شن، لای و یا رس.

septic tank- مخزن فاضلاب: یک مخزن زیرزمینی که برای ته‌نشینی قصولات شهری به کار می‌رود ماده‌ی آلی در مخزن تجزیه شده و مایع فاضلاب در داخل خاک اطراف زه‌کشی می‌شود.

series, soil- سری خاک: به **soil classification** مراجعه کنید.

sewage effluent- مایع فاضلاب: بخش مایع فاضلاب و یا پساب که معمولاً برای جدا نمودن بعضی از ترکیبات آلی محلول و عناصر غذایی در فاضلاب اصلی مورد اصلاح قرار می‌گیرند.

sewage sludge- مواد جامد فاضلاب: مواد جامد ته‌نشین شده فاضلاب همراه با مقادیر مختلف آب و مواد محلول که به‌وسیله‌ی غربال کردن، ته‌نشینی، ترسیب شیمیایی و یا هضم میکروبی از فاضلاب جدا می‌شوند به آن‌ها مواد جامد زیستی **biosolid** نیز گفته می‌شود.

shear- نیروی برشی: نیرو، همانند آنچه در یکی از ادوات خاک‌ورزی در یک زاویه عمودی بر مسیر حرکت اعمال می‌کند.

sheet- صفحه، ورقه: (کانی‌شناسی) آرایش سطح بیش از ضخامت یک اتم که از یک یا چند سطح پلی‌هیدروژن تشکیل شده باشد صفحه از plan ضخیم‌تر و نازک‌تر از یک layer می‌باشد نمونه آن صفحه چهاروجهی و صفحه ۸ وجهی می‌باشد.

sheet erosion- فرسایش صفحه‌ای، فرسایش ورقه‌ای: به erosion مراجعه کنید.

shelterbelt- کمربند حفاظتی: مانع بادی متشکل از درختان و بوته‌های زنده که برای حفاظت مزارع استقرار یافته و نگهداری می‌شود مترادف با بادشکن می‌باشد.

shifting cultivation- کشت و کار نویتی: یک نظام کشت و کار که در آن اراضی از تمام بقایا و بوته‌ها پاک شده و خس و خاشاک سوخته شده و محصول برای ۲ و یا ۳ سال کشت می‌گردد. وقتی زارع به سراغ کرت دیگری می‌رود زمین برای مدت ۵ تا ۱۵ سال نکاشت باقی مانده و پس از آن سوزاندن و کشت محصول تکرار می‌شود.

short range order minerals- کانی‌های با ساختمان بلوری ضعیف: کانی‌های مانند آلوفان که چار چوب ساختمانی آن از ساختمان‌های بلوری منظم فاصله کوتاه تشکیل شده که در فواصل داخلی مواد بدون شکل غیربلوری پراکنده شده است.

side-dressing- کود کناری: استعمال کود شیمیایی در کنار زراعت‌های ردیفی معمولاً در سطح خاک، مواد نیتروژن‌دار معمولاً به صورت کناری مصرف می‌شود.

silica/alumina ratio- نسبت سیلیس به آلومینیوم: تعداد مولکول‌های اکسید سیلیسم (SiO_2) در یک مولکول اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) در کانی رس و یا در خاک.

silica/sesquioxide ratio- نسبت سیلیس به سزکی اکسیدها: تعداد مولکول‌های اکسید سیلیسم (SiO_2) در یک مولکول اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) به اضافه مولکول‌های اکسید آهن Fe_2O_3 در کانی رس و یا در خاک.

silt- لای: ۱- بخش ذرات خاک شامل ذراتی با قطر معادلی در فاصله ۰/۵-۰/۰۰۲ میلی‌متر ۲- یک کلاس بافت خاک.

silting- رسوب گذاری: ته‌نشینی رسوبات موجود در آب در آبراهه رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، مخازن و یا بر روی سیلدشت‌ها که معمولاً از کاهش سرعت آب حاصل می‌شود.

site index- شاخص محل: ارزیابی کمی باروری یک خاک برای رشد درختان تحت شرایط موجود و یا در محیط خاص.

slag- بازمانده‌ی کارخانه: محصولی از کارخانه‌ی ذوب فلز که عمدتاً از سیلیکات‌ها و موادی که به‌نظر نمی‌رسند به عنوان فلز خالص و یا ناخالص تولید شده باشند تشکیل گردیده و دارای وزن ظاهری کمتری می‌باشند.

slash and burn- قطع و سوزاندن جنگل: به shifting cultivation مراجعه کنید.

slickensides- ساییده رخ، سطوح براق: سطوح تشی که به‌وسیله‌ی کشیده‌شدن یک توده بر روی دیگری براق و مخطط شده است.

slick spots- نقاط چرب، لکه‌های وارفته: مناطق کوچک در یک مزرعه که هنگام خیس شدن به‌علت میزان زیاد مواد قلیایی و یا سدیم قابل‌تعمیض و می‌روند.

slope - شیب: درجه‌ی انحراف یک سطح از افق که به‌وسیله‌ی نسبت عددی، درصد، و یا دوجه بیان می‌شود.

slow fraction (of soil organic matter) - بخش غیرفعال ماده‌ی آلی خاک: بخشی از ماده‌ی آلی خاک که با مشکل زیادی به‌وسیله‌ی ریز جانداران تحت تجزیه قرار می‌گرفته و دارای نیم عمری معادل چند سال تا چند دهه است. این بخش حاصل تجزیه‌ی قبلی می‌باشد.

smectite- رس اسمکتیت: گروهی از رس‌های سیلیکاتی با ساختمان شبکه‌ای ۲:۱ با جانشینی همشکل کافی در هر دو لایه سیلیس چهاروجهی و آلومینیوم هشت‌وجهی که سبب ایجاد بار منفی بین لایه‌ای و ظرفیت تبادل بالایی می‌شود و امکان انبساط و انقباض متقابل آن‌را در بین لایه‌های رس فراهم می‌کند. مونت‌موریلنیت، بیدلایت، و ساپونیت در گروه اسمکتیت قرار دارند.

sodic soil- خاک سدیمی: خاکی که دارای مقادیر کافی سدیم برای ایجاد مزاحمت در رشد اکثر نباتات زراعی بوده و نسبت جذب سدیم آن ۱۳ و یا بیشتر باشد.

sodium adsorption ratio- نسبت جذب سدیم: به‌صورت معادله‌ی
$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{1/2(Ca+Mg)}}$$
 بیان می‌شود که در آن غلظت کاتیون‌ها بر حسب میلی‌مول بر لیتر است.

soil- خاک: یک جسم طبیعی پویا که از مواد معدنی و آلی و انواع موجودات تشکیل شده و در آن نبات می‌روید ۲ مجموعه‌ای از اجسام طبیعی که بخشی از سطح زمین را پوشانده و سبب حفظ نباتات گردیده و دارای خصوصیتی هستند که حاصل اثرات جامع اقلیم، موجودات زنده بر مواد مادی در تحت شرایط پستی و بلندی در طول زمان می‌باشد.

soil air- هوای خاک : نیوار خاک، فاز گازی خاک، حجمی که به وسیله‌ی خاک و مایع اشغال نشده باشد.

soil alkalinity- قللیت خاک: درجه و شدت قللیت خاک که در مقیاس pH برحسب مقادیر بیشتر از ۷ بیان می‌شود.

soil amendments- مواد اصلاحی خاک: به هر ماده‌ای مانند آهک، گچ، خاک اره و یا اصلاح کننده‌های مصنوعی، که برای مساعدبودن بیشتر به خاک افزوده می‌شوند.

soil association- خاک مجموعه : گروهی از واحدهای مشخص شده و نامگذاری شده‌ی رده‌بندی خاک که در یک شیوه منحصر به خود در یک منطقه جغرافیایی با هم یافت می‌شوند. با گیاه مجموعه‌ها از راه‌های مختلف قابل مقایسه می‌باشند.

soil classification- طبقه‌بندی خاک (رده‌بندی خاک): ترتیب منظم خاک‌ها در گروه‌ها و یا دسته‌ها بر اساس خصوصیات مشترک آن‌ها.

order- راسته : دسته‌ای از خاک‌ها که دارای بالاترین سطح جمع‌بندی کلی در نظام تقسیم‌بندی خاک می‌باشند. خصوصیتی که برای تشخیص رده انتخاب شده‌اند بیانگر درجه تکامل افق‌ها و انواع افق‌های موجود می‌باشد. ۱۲ رسته خاک عبارتند از :

Andisol- اندی سول‌ها: خاک‌های تکامل یافته از خاکسترهای آتشفشانی. بخش کلوییدی تحت غلبه آلوفان و یا ترکیبات هموس- آلومینیومی می‌باشد.

Alfisols- آلفی سول‌ها: خاک‌ها با افق‌های سطحی خاکستری تا قهوه‌ای، میزان عرضی متوسط تا زیاد بازها و با افق B_h حاصل از تراکم رس آبشویی شده، این خاک‌ها عمدتاً در تحت جنگل و یا پوشش ساوانا در اقلیمی یافت می‌شوند که دارای کمبود رطوبت فصلی کم و یا قابل توجه می‌باشند.

Aridisols- اریذی سول‌ها : خاک‌های مناطق خشک، خاک‌های اقلیم خشک دارای افق‌های توارثی خاک با ماده‌ی آلی کم می‌باشند. این خاک‌ها هرگز به مدت سه ماه متوالی مرطوب نمی‌باشند. این خاک‌ها دارای یک افق اکریگ و یک یا چند تا از افق‌های تشخیصی زیر مانند ارچلیک، ناتریک، کمبیک، کلسیک، پتروکلسیک، جیسیک، پتروجیسیک، سالیک و یا دوری پن (سخت لایه) می‌باشند.

Entisols- آنتی سول‌ها : خاک‌هایی که دارای افق‌های تشخیصی توارثی خاک نمی‌باشند. آن‌ها عملاً در هر اقلیمی بر روی چهرهای سطح زمین ریختی خیلی جدید یافت شوند.

Gelisols- جلی سول‌ها: خاک‌هایی که دارای یخ‌بندان دایمی در ۱ متری فوقانی خاک، و یا دو متری فوقانی خاک در صورت گردش خاکرخ در اثر یخ‌بندان می‌باشند. ممکن است دارای افق اکریک، هیستیک، مولیک یا سایر افق‌های سطحی نیز باشند.

Histosols- هیستوسول‌ها : خاک‌های تشکیل شده از موادی که دارای ماده‌ی آلی زیاد می‌باشند. هیستوسول‌ها بدون رس باید حداقل ۲۰ درصد وزنی (حدود ۷۸ درصد حجمی) ماده‌ی آلی داشته باشند. با افزایش مقدار رس این حداقل ماده‌ی آلی به ۳۰ درصد وزنی (حدود ۸۵ درصد حجمی) در خاک‌هایی که حداقل دارای ۶۰ درصد رس می‌باشند افزایش پیدا می‌کند.

Inceptisols- اینسپتی سول‌ها : خاک‌هایی که اغلب مرطوب بوده و دارای افق‌های توارثی حاصل از تغییر مواد مادی اما نه از آبشویی مواد فوقانی می‌باشند. معمولاً جهت تکامل خاک با توجه به علائم باقی‌مانده به وسیله‌ی فرایند مختلف خاک‌سازی هنوز آشکار نیست، و یا علائم برای طبقه‌بندی آن‌ها در سایر رده‌ها ضعیف می‌باشند.

Mollisols- مولی سول‌ها : خاک‌ها با افق‌های سطحی غنی از ماده‌ی آلی تقریباً تیره‌رنگ و حاوی بازهای زیاد. دارای افق تشخیص سطحی مالیک و در صد اشیاع بازی بیشتر از ۵۰ درصد در هر افق کمبیک و یا ارچلیک می‌باشند. آن‌ها فاقد خصوصیات ورثی سول‌ها بوده و باید دارای افق‌های اکسیک و اسپودیک نباشند.

Oxisols- اکسی سول‌ها : خاک‌ها با تراکم رس‌های غیرفعال، اکسیدهای آزاد، کائولین و کوارتز که عمدتاً در اقلیم گرمسیر یافت می‌شوند.

Spodosols- اسپودوسول‌ها : خاک‌ها با تراکم ماده‌ی آلی و ترکیبات آلومینیوم و معمولاً آهن در تحت‌الارض حاصل از آبشویی طبقات فوقانی این خاک‌ها. در خاک‌های اسیدی و عمدتاً از مواد دانه درشت در اقلیم مرطوب و معمولاً سرد و یا معتدل یافت می‌شوند.

Ultisols- آلتی سول‌ها : خاک‌هایی که دارای بازهای کم و افق‌های تحت‌الارض حاصل از آبشویی رس، ناشی از طبقات فوقانی می‌باشند. این خاک‌ها اغلب مرطوب بوده اما در طول فصول گرم سال بعضی از آن‌ها در بخشی از مواقع خشک می‌باشند.

Vertisols- ورتی سول ها : خاک‌های رسی با توان انقباض - انبساط زیاد که دارای ترک‌های عریض عمیق هنگام خشک شدن می‌باشند. اکثر

این خاک‌ها دارای دوره‌های جداگانه خشک و مرطوب در طول سال می‌باشند

suborder- زیر راسته : این دسته‌بندی خاک‌ها را بر حسب تغییرات رژیم رطوبتی و حرارتی، انواع افق‌ها و ترکیب آن‌ها بر حسب آن‌که کدام یک مهم‌ترین می‌باشند تفکیک می‌کند.

great group- گروه بزرگ : کلاس‌های موجود در این دسته‌بندی دارای خاک‌هایی می‌باشند که دارای همان افق‌ها در همان توالی و رژیم‌های رطوبتی و حرارتی مشابه می‌باشند.

subgroup- زیر گروه: گروه‌های بزرگ به زیرگروه‌های حاوی مفهوم اصلی که نشان‌دهنده‌ی خصوصیات اصلی گروه بزرگ بوده، و یا به زیرگروه‌های بینابین که نشان‌دهنده‌ی خصوصیات بیش از یک گروه بزرگ بوده، و یا به زیرگروه‌ها در خاک‌هایی که دارای خصوصیات خاص بوده و دارای مشخصات هیچ کدام از گروه‌های بزرگ نمی‌باشند تقسیم می‌گردند.

family- خانواده : خانواده‌ها معمولاً برحسب خصوصیات فیزیکی و یا کانی‌شناسی مهم برای رشد نباتات تقسیم‌بندی می‌شوند.

series- سری خاک: سری‌های خاک از تقسیمات فرعی خانواده بوده و شامل خاک‌هایی می‌باشند که در تمام خصوصیات مهم خاک‌رخ مشابه می‌باشند.

soil complex- همناخت خاک: واحد نقشه مورد استفاده در مطالعات خاک‌شناسی تفصیلی وقتی دو واحد رده‌بندی مشخص و یا بیشتر چنان در ارتباط نزدیک جغرافیایی باهم ادغام شده‌اند که جدا کردن آن‌ها به دلیل مقیاس به کاررفته نامطلوب و یا غیرعملی می‌باشد. مخلوط شدن نزدیک ترمساحت‌های کوچک تراواحدهای رده‌بندی انفرادی در مقایسه با آن‌چه در soil association بیان گردید.

soil compressibility- تراکم پذیری خاک : خصوصیات خاک در ارتباط با ظرفیت آن در کاهش حجم کل هنگام قرارگرفتن در زیر یک بار

soil conditioner- بهساز فیزیکی خاک، اصلاح کننده‌ی خاک : هر ماده‌ای که به منظور ارتقای شرایط فیزیکی به خاک اضافه می‌شود.

soil conservation- حفاظت خاک : ترکیبی از روش‌های مدیریت و کاربری اراضی که سبب محافظت خاک در مقابل تخریب به وسیله‌ی انسان و یا طبیعت می‌گردد.

soil consociation- خاک مجموعه همسان: نوعی واحد نقشه شناسایی خاک که به خاطر رده غالب خاک جدا و ترسیم شده، و حداقل نصف واحد خاک دارای نام رده غالب بوده. و اکثر واحدهای باقی‌مانده چنان مشابه می‌باشند که در تفسیرهای به عمل آمده تأثیر نمی‌گذارند.

soil correlation- همبستگی خاک : فرایند تعریف، ترسیم و نامگذاری انواع خاک‌ها در یک منطقه خاص مورد مطالعه هدف این است که مطمئن شویم که خاک‌ها در حد کافی تعریف و با دقت ترسیم و به طور یکنواخت نام‌گذاری شده‌اند.

soil erosion- فرسایش خاک : erosion را مطالعه کنید.

soil fertility- حاصلخیزی خاک : fertility را مطالعه کنید.

soil genesis- تکوین خاک، توارث خاک : منشاء خاک با عنایت خاص به فرایندها و یا عوامل تشکیل خاک مسوول تکامل طبقات خاک و یا ایجاد خاک واقعی، از مواد مادری نا متراکم می‌باشد.

soil geography- جغرافیای خاک : رشته‌ی فرعی جغرافیای فیزیکی در ارتباط با توزیع فضایی انواع خاک‌ها می‌باشد.

soil horizon- افق خاک : به horizon, soil مراجعه کنید.

soil loss tolerance (T)- فرسایش قابل قبول : حداکثر فرسایش سالانه‌ی خاک که حفظ باروری محصول را به طور اقتصادی و نامحدود ممکن می‌سازد.

soil management- مدیریت خاک: تمامی عملیات خاک‌ورزی، عملیات کشت و کار، کود دادن، آهک‌دادن و سایر عملیات اصلاحی که در خاک برای تولید محصول اعمال و یا انجام می‌شود.

soil map- نقشه‌ی خاک: نقشه‌ای که توزیع انواع خاک‌ها و یا سایر واحدهای نقشه را در ارتباط با چهره‌های برجسته‌ی فیزیکی و یا فرهنگی سطح زمین نشان می‌دهد.

soil mechanics and engineering- مکانیک و مهندسی خاک: زیر تخصصی از دانش خاک‌شناسی در ارتباط با اثرات نیروها در خاک و کاربرد اصول مهندسی در مسایل مربوط به خاک.

soil moisture potential- پتانسیل رطوبتی خاک : به soil water potential مراجعه کنید.

- soil monolith**- منولیت خاک : مقطع قائم خاک‌رخ که از خاک برداشت و برای مطالعه و نمایش در چهارچوب خاص قرار می‌گیرد.
- soil morphology**- ریخت شناسی خاک: وضع فیزیکی خاک، به‌خصوص خصوصیات ساختاری خاک‌رخ که به‌وسیله‌ی انواع، ضخامت و یا ترتیب افق‌ها در خاک‌رخ به نمایش گذاشته می‌شود. و یا به‌وسیله‌ی بافت، ساختمان، پایداری و تخلخل هر افق مشخص می‌شود.
- soil order**- راسته‌ی خاک: به soil classification مراجعه کنید.
- soil profile**- خاک‌رخ : مقطع عمودی از سطح تا داخل افق‌ها از جمله افق C به horizon, soil نیز مراجعه کنید.
- soil organic matter**- ماده‌ی آلی خاک : بخش آلی خاک که شامل پس‌مانده‌های گیاهی و جانوری در مراحل مختلف تجزیه، پخته‌ها و بافت‌های موجودات خاک، و موادی است که به‌وسیله‌ی جمعیت خاک بازسازی می‌شوند. معمولاً به عنوان مقدار ماده‌ی آلی موجود در نمونه‌ی خاک که از الک دو میلی‌متری می‌گذرد مشخص می‌شود.
- soil porosity**- تخلخل خاک : به porosity, soil مراجعه کنید.
- soil productivity**- باروری خاک : به productivity مراجعه کنید.
- soil quality** - کیفیت خاک : ظرفیت یک خاک خاص برای ایفای نقش در محدوده یک بوم‌سامان طبیعی و یا تحت مدیریت انسان برای پایداری توان تولید نبات و حیوان، حفظ و یا ارتقای کیفیت آب و هوا و حفظ سلامت و مأوای انسان می‌باشد. در بعضی مواقع این ظرفیت در ارتباط با یک حالت طبیعی دست‌نخورده، مورد ملاحظه می‌باشد.
- soil reaction** - واکنش خاک : به soil reaction, pH مراجعه کنید.
- soil salinity** - شوری خاک : مقدار نمک‌های محلول در یک خاک که بر حسب درصد، میلی‌گرم در کیلوگرم، قسمت در میلیون (ppm)، و یا سایر نسبت‌های مناسب دیگر بیان می‌شود.
- soil separates**- گروه اندازه‌های خاک : به sperate, soil مراجعه کنید.
- soil series**- سری خاک : به soil classification مراجعه کنید.
- soil solution**- محلول خاک : فاز مایع خاک و مواد محلول در آن شامل یون‌های جدا شده از سطح ذرات خاک و سایر مواد حل‌شدنی می‌باشد.
- soil strength**- قدرت خاک : یک خصوصیت انتقالی خاک که مربوط به هم‌چسبی و دگرچسبی فاز جامد خاک می‌باشد.
- soil structure**- ساختمان خاک: ترکیب و تنظیم ذرات اولیه خاک به‌صورت ذرات، واحدها و یا خاک واحدهای ثانویه، این واحدهای ثانویه بر حسب اندازه، شکل و درجه‌ی تمایز به ترتیب به کلاس‌ها، انواع و درجات مختلف تقسیم‌بندی شده است.
- soil structure classes**- کلاس‌های ساختمان خاک : گروه‌بندی واحدهای ساختمانی و یا خاک واحدها بر اساس اندازه از خیلی ریز تا خیلی درشت.
- soil structure grades**- درجات استحکام ساختمان : گروه‌بندی و یا طبقه‌بندی ساختمان خاک بر حسب نیروهای هم‌چسبی و دگرچسبی و پایداری بین‌دانه‌ای و یا درون‌دانه‌ای در خاک‌رخ، ۴ درجه استحکام خاک از صفر تا ۳ مشخص شده است.
- ۰- بی‌ساختمان : هیچ‌گونه دانه‌بندی مشاهده نمی‌شود.
- ۱- ضعیف : خاک واحدها با استحکام کم
- ۲- متوسط : خاک واحدها با استحکام متوسط
- ۳- قوی : خاک واحدها با استحکام زیاد.
- soil structure types**- شکل‌های ساختمان خاک : طبقه‌بندی ساختمان خاک بر اساس شکل خاکدانه‌ها و یا واحدهای ساختمانی و قرارگرفتن آن‌ها در خاک‌رخ بوده و شامل بشقابی، منشوری، ستونی، مکعبی، شبه‌مکعبی، خاکدانه‌ای و اسفنجی می‌باشد.
- soil survey**- شناسایی خاک: آزمون نظام‌مند، تشریح، طبقه‌بندی و تهیه‌ی نقشه‌ی خاک در یک منطقه. مطالعات شناسایی خاک بر حسب نوع و تعداد مشاهدات صحرائی طبقه‌بندی می‌شوند.
- soil temperature classes**- کلاس‌های دمایی خاک : معیارهایی که برای جداکردن خاک‌ها در طبقه‌بندی خاک آمریکایی در سطح خانواده مورد استفاده می‌باشد. کلاس‌ها بر حسب میانگین دمای سالانه و تفاوت بین دمای تابستان و زمستان در عمق ۵۰ سانتی‌متر مشخص می‌شوند.
- soil textural classes**- کلاس‌های بافت خاک: گروه‌بندی واحدهای بافت خاک بر اساس میزان نسبی اجزای مختلف خاک (شن، لای و رس). این کلاس‌های بافت از درشت‌ترین تا ریزترین بافت. شامل شن، شن لومی، لوم شنی، لوم، لوم سیلتی، سیلت، لوم رسی شنی، لوم رسی، لومی‌رسی سیلتی،

رس شنی، رس سیلتی و رس می‌باشد. زیر کلاس‌های مختلفی در کلاس‌های شن، شن لومی، لوم شنی بر اساس اندازه غالب ذرات بخش شن وجود دارد (مانند شن ریز لومی، لوم شنی درشت)

soil texture - بافت خاک : مقادیر نسبی گروه اندازه‌های مختلف خاک.

soil water potential - پتانسیل آب خاک (کل) : مقیاسی از اختلاف بین حالت انرژی آزاد آب خاک و آب خالص. این واژه به‌طور فنی چنین تعریف می‌شود : «مقدار کاری که در واحد کمی آب خالص باید انجام داد تا یک مقدار آب بی‌نهایت کوچک را به‌طور برگشت‌پذیر در دمای یکسان از یک منبع آب در ارتفاع خاص و فشار جوی به آب خاک در نقطه مورد نظر انتقال داد». این پتانسیل کل شامل پتانسیل‌های زیر است:

gravitational potential - پتانسیل ثقلی : آن بخش از پتانسیل کل که به‌خاطر تفاوت ارتفاع یک منبع آب خالص با آب خاک می‌باشد. از آن‌جاکه ارتفاع آب خاک معمولاً چنان انتخاب می‌شود که از منبع مرجع بالاتر باشد، پتانسیل ثقلی معمولاً مثبت می‌باشد.

matric potential - پتانسیل ماتریک : آن بخش از پتانسیل کل آب خاک به‌خاطر نیروهای جاذبه بین آب و مواد جامد خاک که به‌وسیله‌ی جذب و موینگی مشخص می‌شود. اکثراً منفی می‌باشد.

osmotic potential - پتانسیل اسمزی : آن بخش از پتانسیل کل آب خاک که به‌خاطر حضور مواد حل‌شدنی در آب خاک می‌باشد. این پتانسیل اکثراً منفی می‌باشد.

solum - خاک فعال: بخش بالایی خاک‌رخ با بیشترین هوادیدگی : افق‌های B.E.A.

sorption - جذب: برداشت یک یون و یا یک مولکول از محلول خاک به‌وسیله‌ی جذب و یا جذب سطحی، این واژه وقتی سازوکار اصلی جذب مشخص نیست به کار می‌رود.

species diversity - تنوع گونه‌ای : انواع گونه‌های مختلف زیستی در یک بوم‌سامان، معمولاً تنوع بالا به‌وسیله‌ی گونه‌های زیاد با تعداد افراد اندک مشخص می‌شود.

species richness - غنای گونه‌ای : تعداد گونه‌های مختلف که در یک بوم‌سامان بدون توجه به توزیع افراد در بین این گونه‌ها وجود دارند.

specific heat capacity - گنجایش گرمایی ویژه : میزان انرژی جنبشی (گرما) که برای بالا بردن دمای یک گرم ماده (در ارتباط با خاک و یا اجزای خاک) به مقدار یک درجه سانتی‌گراد لازم می‌باشد.

specific surface - سطح مخصوص : مساحت ذرات جامد خاک در واحد جرم یا حجم ذرات جامد.

splash erosion - فرسایش پاشمانی : به erosion مراجعه کنید.

spodic horizon - افق اسپدیک : به diagnostic subsurface horizon مراجعه کنید.

spodosols - راسته اسپدوسول: به soil classification مراجعه کنید

sprinkler irrigation - آبیاری بارانی : به irrigation methods مراجعه کنید.

stem flow - جریان ساقه‌ریز: فرایندی که در آن آب باران و یا آبیاری بارانی به‌وسیله‌ی آسمانه‌ی گیاهی نبات به تنه‌ی نبات می‌رسد تا سبب مرطوب شدن خاک زیر آسمانه به‌طور غیریکنواخت گردد.

stratified - لایه‌لایه‌ای : تنظیم شده و یا ترکیب شده از طبقات و لایه‌های مختلف

strip cropping - کشت نوار: عملیات کشت محصولات نیازمند انواع عملیات مختلف خاک‌ورزی مانند محصولات ردیفی و محصولات متراکم در نوارهای متناوب در طول خطوط تراز و یا عمود بر مسیر غالب باد

soil structure - ساختمان خاک : به soil structure مراجعه کنید.

stubble mulch - خاکپوش کلشی : کلش یا بقایای نبات که در سطح اراضی به‌عنوان خاک‌پوش سطحی قبل از مرحله تهیه‌ی بستر بذر و یا در حین تهیه‌ی بستر و حداقل در بخشی از طول فصل نبات بعدی باقی می‌ماند.

subirrigation - آبیاری زیرزمینی : به روش‌های آبیاری مراجعه کنید.

subsoil - خاک تحت‌الارضی : بخشی از خاک زیر لایه‌ی شخم.

subsoiling - زیرشکنی : خرد کردن خاک تحت‌الارض متراکم، بدون برگرداندن آن با یک وسیله چاقو مانند (اسکنه) که معمولاً در عمق ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری با فواصل ۱ تا ۲ متر در داخل خاک کشیده می‌شوند.

- summer fallow**- آیش تابستانه : یک نظام کشت‌وکار که شامل مدیریت اراضی آیش (بدون کشت) در تابستان برای مبارزه با گیاهان هرز و ذخیره رطوبت برای رشد نبات بعدی می‌باشد.
- surface seal**- اندوده‌ی سطحی : یک لایه نازک از ذرات ریز که در سطح یک خاک رسوب یافته و نفوذپذیری سطح خاک را به مقدار زیادی کاهش می‌دهد.
- surface soil**- خاک سطحی : بالاترین بخش خاک که معمولاً به‌وسیله‌ی عملیات خاک‌ورزی جابه‌جا می‌شود و یا معادل آن در خاک‌های کشت‌نشده که عمق آن معمولاً از ۷ تا ۲۵ سانتی‌متر تغییر می‌کند. معمولاً به عنوان لایه شخم، افق AP و یا لایه AP مشخص شده است.
- surface tension**- کشش سطحی : پدیده‌ای مشابه ارتجاع پذیری که حاصل جذب نامتعادل بین مولکول‌های مایع (معمولاً آب) و بین مولکول‌های مایع و گاز (معمولاً هوا) در سطح مشترک مایع و هوا می‌باشد.
- symbiosis**- همزیستی : زندگی کردن با همکاری نزدیک دو موجود غیرمشابه که این همکاری برای هر دو طرف سودمند می‌باشد
- talus**- واریزه‌ها: قطعاتی از سنگ و یا سایر مواد که به‌وسیله‌ی ثقل در پای پرتگاه‌ها و شیب‌های تند تجمع می‌یابد.
- taxonomy, soil**- رده‌بندی خاک : دانش طبقه‌بندی خاک‌ها، قوانین و اصول حاکم بر طبقه‌بندی خاک. به soil classification نیز مراجعه کنید.
- tensiometer**- مکش سنج: وسیله‌ای برای اندازه‌گیری فشار منفی (مکش) آب در خاک، یک درپوش سرامیکی متخلخل که به‌وسیله‌ی یک لوله به یک فشارسنج و یا خلاسنج اتصال دارد.
- tension, soil moisture**- مکش آب خاک : به soil water potential مراجعه کنید.
- terrace** - تراس، پشته، سکو، پادگانه: ۱- یک دشت مسطح، معمولاً باریک، در حاشیه رودخانه، دریاچه و دریا، رودها در بعضی مواقع به‌وسیله‌ی پادگانه‌هایی در ارتفاعات مختلف احاطه شده‌اند. ۲- یک نوار بلند نسبتاً مسطح و یا افقی خاک که معمولاً بر روی خطوط تراز و یا نسبتاً تراز به‌منظور مساعد ساختن اراضی برای انجام عملیات خاک‌ورزی و یا ممانعت از فرسایش شتابی با انحراف آب از آبراهه‌های نامتناسب تراکم آب ایجاد می‌شوند. بعضی مواقع به آن‌ها تراس‌های انحرافی اطلاق می‌شود.
- tetrahedral sheet**- ورقه‌ی ۴ وجهی: صفحه‌ای که واحدهای ۴ وجهی اجزای اصلی کانی‌های سیلیکاتی (رسی) را تشکیل می‌دهند به طور افقی به همدیگر اتصال می‌دهد هر واحد از یک اتم مرکزی چهار پیوندی (برای نمونه Al, Si, Fe) به‌وسیله‌ی چهار اتم اکسیژن محاصره شده و آن‌ها نیز به سایر اتم‌های نزدیک (برای مثال Al, Si, Fe) اتصال یافته‌اند و بنابراین به‌عنوان یک اتصال داخل لایه‌ای برای نگهداری صفحه عمل می‌کنند.
- texture**- بافت: به soil texture مراجعه کنید.
- thermal analysis (differential thermal analysis)**- گرماسنجی، گرماسنجی افتراقی: روش تجزیه‌ی نمونه خاک برای شناخت ترکیبات آن، بر اساس میزان تفاوت گرم شدن نمونه ناشناخته با نمونه استاندارد هنگام به‌کارگیری یک منبع یکنواخت گرما.
- thermic**- ترمیک : به soil temperature classes مراجعه کنید.
- thermophilic organism**- جانداران گرمادوست : موجودات زنده‌ای که به آسانی در دمای بالاتر از ۴۵ درجه سانتی‌گراد رشد می‌کنند.
- thixotrophy**- روان‌شدن: خصوصیات بعضی رس‌ها که هنگام لرزش و یا به‌هم زدن به سیال تبدیل شده و سپس در حالت سکون قوام می‌گیرند. مشابه واژه سریع در quick clay و یا quick sand می‌باشند.
- tile, drain**- تنبوشه‌ی زه‌کشی: لوله‌های ساخته شده از رس پخته، سیمان، مواد سرامیکی در طول‌های کوتاه معمولاً با فواصل باز در اتصالات برای جمع‌آوری و هدایت آب اضافی از خاک.
- till**- رسوبات یخچالی، خاک‌ورزی: ۱- مواد رسوبی یخچالی بدون لایه‌بندی که مستقیماً به‌وسیله‌ی یخ ته‌نشست شده و شامل رس، شن، سنگ‌ریزه و قطعه‌سنگ‌ها است که با هر نسبتی با هم ادغام شده‌اند. ۲- شخم زدن و آماده کردن زمین برای بذرپاشی، بذرکاری و کشت‌وکار در خاک.
- tillage**- خاک‌ورزی: دستکاری مکانیکی خاک به هر منظور، اما در کشاورزی معمولاً محدود به تغییر شرایط خاک برای تولید محصولات می‌باشد.
- tillage, conservation**- خاک‌ورزی حفاظتی: هر نوع عملیات خاک‌ورزی که سبب کاهش هدر رفت خاک و آب در مقایسه با خاک‌ورزی معمول می‌باشد شامل نظام‌های زیرین است:
- minimum tillage**- کمینه خاک‌ورزی : کمترین دستکاری لازم در خاک برای تولید محصولات و یا رفع نیازهای خاک‌ورزی در شرایط موجود خاک و اقلیم.

mulch tillage- خاک‌ورزی پوششی : خاک‌ورزی و آماده‌کردن خاک به‌طوری‌که پس‌مانده‌های گیاهی و سایر مواد برای پوشش سطح باقی بمانند. به آن کشت‌وکار خاکپوش^۱، کشت‌وکار پس‌مانده‌ها^۲، کشت‌وکار خاکپوش کشتی^۳، کشت‌وکار بدون شخم^۴ نیز گفته می‌شود.

no tillage system- نظام بدون خاک‌ورزی : فرایندی که در آن نبات مستقیماً در یک بستر بذری که از هنگام برداشت محصول بعدی شخم نشده است کاشت می‌شود، به آن خاک‌ورزی صفر نیز گفته می‌شود.

plow-planting- شخم - کشت: شخم زدن و کاشت زمینی در مسیر رفت با کشیدن ادوات شخم و کشت به‌وسیله‌ی همان منبع نیرو

ridge till- خاک‌ورزی پشته‌ای : کشت بر روی پشته‌هایی که به‌وسیله‌ی خاک‌ورزی در طول فصل رشد قبلی ایجاد شده است.

sod planting- کشت چمنی : روش کشت در اراضی چمنی با خاک‌ورزی اندک یا بدون خاک‌ورزی.

strip till- کشت نواری: کشت در یک نوار باریک که مورد خاک‌ورزی قرار گرفته و مخلوط شده و بقیه‌ی سطح خاک دست‌نخورده باقی بماند.

subsurface tillage- شخم زیرزمینی : شخم با یک نوع گاوا آهن پنجه‌غازی و یا تیغه‌ی خاص که از زیر سطح خاک کشیده می‌شود، سبب بریده‌شدن ریشه نباتات و سست کردن خاک بدون زیر و رو کردن آن و یا بدون مخلوط کردن پس‌مانده‌های پوشش سطحی می‌باشد.

wheel-track planting- کشت ردچرخ: عملیاتی که در آن بذری بلافاصله در مسیرهایی که به‌وسیله‌ی چرخ‌های جلو بذریک ایجاد شده‌اند کشت می‌شود.

tillage, conventional- خاک‌ورزی مرسوم: به عملیات اولیه و ثانویه شخم با هم اطلاق می‌گردد که معمولاً برای تهیه‌ی بستر بذری زراعت موردنظر در یک منطقه‌ی جغرافیایی انجام می‌شود.

tillage, primary- خاک‌ورزی اولیه : عملیات خاک‌ورزی که سبب عمده‌ترین دستکاری خاک معمولاً با گاوا آهن می‌شوند.

tillage, rotary- خاک‌ورزی دوار : عملیاتی که به‌وسیله‌ی یک دندان دوار برای سست کردن و مخلوط کردن خاک به‌وسیله‌ی نیروی ماشین انجام می‌شود.

tillage, secondary- خاک‌ورزی ثانویه: هرنوع عملیات خاک‌ورزی که بدنبال خاک‌ورزی اولیه به منظور آماده‌کردن یک بستر بذری رضایت‌بخش طراحی می‌شود.

tilth- ورز خاک: شرایط فیزیکی خاک در ارتباط با سهولت خاک‌ورزی، تناسب آن برای بستر بذری، و مقاومت آن در مقابل سربرآوردن گیاهچه و انتشار ریشه می‌باشد.

topdressing- کود سرک دادن: مصرف کود در خاک پس از استقرار نبات

toposequence- خاک ردیف پستی و بلندی: ردیف خاک‌های مربوطه که از یکدیگر عمدتاً به خاطر پستی و بلندی به‌عنوان عامل تشکیل خاک متفاوت می‌باشد.

topsoil- خاک سطحی : ۱- لایه خاک که در کشت‌وکار جابه‌جا می‌شود surface soil را نیز مشاهده کنید. ۲- مواد خاکی حاصلخیز که روی کناره‌ی جاده‌ها، باغچه‌ها و چمن‌ها پخش می‌شوند.

trace elements- (واژه‌ی فراموش شده) عناصر کم‌مصرف: به micronutrients مراجعه کنید.

tri-octahedral- ۸ وجهی سه‌تایی: یک صفحه ۸ وجهی رس‌های سیلیکاتی که در آن‌ها محل پیوند اتم‌های فلزی عمدتاً به‌وسیله‌ی کاتیون‌های دوظرفیتی مانند منیزیم پر شده است.

truncated- رو رفته، بریده شده : تمام و یا بخشی از افق و یا افق‌های سطحی خاک از دست رفته باشد.

tuff- خاکستر آتشفشانی : خاکستر آتشفشانی که کم‌ویش لایه‌بندی شده و در مراحل مختلف صلب‌شدن قرار دارد.

tundra- توندرا : یک دشت مسطح و یا با پستی و بلندی جزئی که ویژه‌ی مناطق قطبی می‌باشد.

Ultisols- راسته‌ی آلتی سول‌ها : به soil classification مراجعه کنید.

umbric epipedon- افق سطحی آمبریک : به diagnostic surface horizon مراجعه کنید.

¹ -mulch farming

² -trash, farming

³ -stubble mulch tillage

⁴ -plowless farming

- universal soil loss equation (USLE)** - معادله‌ی جهانی هدررفتن خاک : معادله‌ای برای برآورد فرسایش متوسط سالانه خاک در واحد سطح به صورت $A=RKLSCP$ که در آن R عامل فرساینده‌ی اقلیم (بارندگی به اضافه رواناب)، K عامل فرسایش پذیری خاک، L عامل طول شیب، S عامل درصد شیب، P عامل عملیات حفاظت خاک و C عامل کشت‌وکار و مدیریت می‌باشند.
- unsaturated flow** - جریان غیراشباع : حرکت آب در خاکی که منافذ آب کاملاً از آب پر نشده است.
- vadose zone** - منطقه خشکه: منطقه هوادار خاک در بالای یک سطح ایستایی داریم.
- value(color)** - ارزش رنگ : به Munsell color system مراجعه کنید.
- variable charge** - بار متغیر : به pH-depended charge مراجعه کنید.
- varnish, desert** - جلای بیابانی : درخشش شیشه‌ای و یا پوششی احتمالاً از آهن و منگنز بر روی سنگ‌ها و سنگ‌ریزه در مناطق بیابانی.
- vermiculite** - ورمی کولیت : رس سیلیکاتی ۱:۲ که معمولاً از میکا تشکیل شده و دارای بار خالص منفی زیادی می‌باشد که عمدتاً از جانشینی هم‌شکل آلومینیوم به جای سیلیس در صفحه‌ی چهاروجهی ناشی شده است.
- Vertisols** - راسته‌ی ورتی‌سول‌ها : به soil classification مراجعه کنید.
- vesicles** - ریز حفره، ریز کیسه : ۱ منافذ ناپیوسته با دیواره‌های صاف ۲- ساختارهای کروی که در اخل یاخته‌های ریشه به وسیله‌ی قارچ ریشه‌ی و زیکولار - اربسکولار تشکیل شده است.
- vesicular arbuscular mycorrhiza** - قارچ ریشه‌ی وزیکولار اربسکولار: تجمع قارچ ریشه‌ی داخلی معمولی که به وسیله‌ی قارچ‌های نیکومیست ایجاد شده و با توسعه‌ی دو نوع ساختار قارچی مشخص می‌شوند ۱- ساختار کوچک در داخل یاخته‌ی ریشه‌ها که اربسکول نام دارد ۲- اندام‌های ذخیره‌ای در بین یاخته‌های ریشه که وزیکول نامیده می‌شود. گیاهان میزبان شامل بسیاری از محصولات زراعی و باغی می‌باشند. به endomycorrhiza نیز مراجعه کنید.
- virgin soil** - خاک بکر : خاکی که از حالت طبیعی خود به‌طور عمده مورد دستکاری قرار نگرفته است.
- waterlogged** - مانداب : از آب اشباع شده یا نزدیک به اشباع.
- water potential, soil** - پتانسیل آب خاک : به soil water potential مراجعه کنید.
- watershed** - حوزه‌ی آبخیز : تمامی اراضی و آب‌های واقع در یک محدوده‌ی جغرافیایی با خطوط تقسیم آب و یا ارتفاعات پیرامون آن که محدوده را از آبخیزهای مجاور جدا می‌سازند.
- water-stable aggregate** - خاکدانه‌های پایدار در آب : خاکدانه‌های که در مقابل عمل آب مانند افتادن قطرات و در الک کردن تر پایدار می‌باشند.
- water table** - سطح ایستابی : سطح بالایی آب تحت‌الارض و یا سطحی که زیر آن خاک از آب اشباع می‌باشد.
- water table, perched** - سطح ایستابی آویزان : سطح منطقه‌ی اشباع محلی که در بالای آب زیرزمینی اصلی به وسیله‌ی یک لایه غیرقابل نفوذ معمولاً رسی نگهداری می‌شود و از آب زیرزمینی اصلی به وسیله یک منطقه غیراشباع جدا می‌گردد.
- water use efficiency** - بازدهی مصرف آب : میزان ماده خشک و یا بخش قابل برداشت محصول تولید شده در واحد آب مصرف شده.
- weathering** - هوا دیدگی: تمام تغییرات فیزیکی و شیمیایی صورت گرفته در سنگ‌ها در و یا نزدیکی سطح زمین به وسیله‌ی عوامل اقلیمی.
- wetland** - اراضی باتلاقی : پهنه‌ای از اراضی که دارای خاک‌های مرطوب و نباتات آب‌دوست بوده و به طور شاخص در بخشی از سال به صورت غرقابی بوده و یک منطقه انتقالی را در بین نظام‌های آبی و زمینی تشکیل می‌دهند.
- wetting front** - جبهه‌ی رطوبتی : مرز بین خاک خیس و خاک خشک در طول فرایند نفوذ آب در خاک.
- wilting point (permanent wilting point)** - نقطه پژمردگی دائم : میزان رطوبت خاک براساس وزن خشک اتو که در آن نبات دچار پژمردگی دائم شده و شادابی آن در صورت قرارگرفتن در محیط تاریک مرطوب قابل برگشت نمی‌باشد.
- windbreak** - باد شکن : کشت درختان، بوته‌ها و یا سایر پوشش گیاهی عمود و یا نسبتاً عمود بر مسیر اصلی باد برای حفظ خاک، نبات، منازل و غیره در مقابل باد و برف.
- Xenobiotic** - زیست بیگانه : ترکیباتی که در نظام‌های زیستی بیگانه می‌باشند. اغلب به ترکیباتی اطلاق می‌شود. که در مقابل تجزیه مقاوم می‌باشند.
- xerophytes** - گیاهان خشکی‌زی، گیاهان خشکی‌پسند : نباتاتی که در خاک‌های فوق‌العاده خشک رشد می‌کنند.

xero tillage - صفر خاک‌ورزی : به tillage, conservation مراجعه کنید.

-zeta potential پتانسیل زتا : به electrokinetic مراجعه کنید.

zymogenous organism - موجودات فرصت‌طلب : موجوداتی که پس از اضافه کردن مواد آلی قابل تجزیه به تعداد بسیار زیاد در خاک پیدا می‌شوند.

منابع مورد استفاده فصول مختلف

فصل اول: خاک ها در پیرامون ما

Tan, K. H., and O. Nopamombodi. 1981. "Electron microbeam analysis and scanning electron microscopy of soil-root interfaces," *Soil Sci.*, 131:100-106.

فصل دوم: تشکیل خاک ها از مواد مادری

- Boul, S. W., F. D. Hole, R. J. McCracken, and R. J. Southard. 1997. *Soil Genesis and Classification*, 4th ed. (Ames, Iowa: Iowa State University Press).
- Fanning, D. S., and C. B. Fanning. 1989. *Soil: Morphology, Genesis, and Classification*. (New York: John Wiley and Sons).
- Haering, K. C., W. L. Daniels, and J. A. Roberts. 1993. "Changes in mine soil properties resulting from overburden weathering," *J. Environ. Quality* 22:194-200.
- Jackson, M. L. 1964. "Chemical composition of soils," in E. E. Bear (ed.), *Chemistry of the Soil*, 2nd ed. (New York: Reinhold).
- Jenny, Hans. 1941. *Factors of Soil Formation: A System of Quantitative Pedology*, (originally published by McGraw-Hill; Mineola, N.Y.: Dover).
- Jenny, Hans. 1980. *The Soil Resource—Origins and Behavior*. *Ecological Studies*, vol. 37. (New York: Springer-Verlag).
- Logan, William Bryant. 1995. *Dirt: The Ecstatic Skin of the Earth*. (New York: Riverhead Books).
- Miller, F. P. 1976. *Maryland Soils Bulletin 212*. (College Park, Md.: University of Maryland Cooperative Extension Service).
- National Science Foundation. 1975. "All that unplowed land," *Mosaic*, 6:17-21. (Washington, D.C.: National Science Foundation).
- Petersen, G. W., R. L. Cunningham, and R. P. Matelski. 1971. "Moisture characteristics of Pennsylvania soils: III. Parent material and drainage relationships," *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 35:115-119.
- Simonson, R. W. 1958. "Outline of a generalized theory of soil genesis," *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 22:152-156.
- Soil Survey Division Staff. 1993. *Soil Survey Manual*. *Agricultural Handbook 18*. (Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office).
- Soil Survey Staff. 1996. *Keys to Soil Taxonomy*, 7th ed. (Washington, D.C.: USDA Natural Resources Conservation Service).

فصل سوم: طبقه‌بندی خاک‌ها

- Coulombe, C. E., L. P. Wilding, and J. B. Dixon. 1996. "Overview of Vertisols: Characteristics and impacts on society," *Advances in Agronomy*, 17:289-375.
- Eswaran, H. 1993. "Assessment of global resources: Current status and future needs," *Pedologie*, 43(1):19-39.
- McCracken, R. J., et al. 1985. "An appraisal of soil resources in the USA," in R. F. Follet and B. A. Stewart (eds.), *Soil Erosion and Crop Productivity*. (Madison, Wis.: Amer. Soc. Agron.).
- Riecken, F. F., and G. D. Smith. 1949. "Principal upland soils of Iowa, their occurrence and important properties," *Agron.*, 49 (revised). *Iowa Agr. Exp. Sta.*
- SSSA. 1984. *Soil Taxonomy, Achievements and Challenges*. SSSA Special Publication no. 14. (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.).
- Soil Survey Staff. 1975. *Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*. (Washington, D.C.: USDA Natural Resources Conservation Service).
- Soil Survey Staff. 1999. *Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*, 2nd ed. (Washington, D.C.: USDA Natural Resources Conservation Service).

Soil Survey Staff. 1998. Keys to Soil Taxonomy. (Washington, D.C.: USDA Natural Resources Conservation Service).

فصل چهارم: مهرازی خاک و خصوصیات فیزیکی

- Bigham, J. M., and E. J. Ciolkosz (eds.). 1993. Soil Color. SSSA Special Publication no. 31. (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Of Amer.) 172 pp.
- Brewer, R. 1964. Fabric and Mineral Analysis of Soils. (New York: John Wiley and Sons).
- Camp, C. R., and J. F. Lund. 1964. "Effects of soil compaction on cotton roots," *Crops and Soils*, 17:13-14.
- Emerson, W. W., R. C. Foster, and J. M. Oades. 1986. "Organomineral complexes in relation to soil aggregation and structure," in P. M. Huang and M. Schnitzer (eds.), *Interaction of Soil Minerals with Natural Organics and Microbes*. SSSA Special Publication no. 17. (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.).
- Faulkner, E. H. 1943. *Plowman's Folly* (Norman, Okla.: University of Oklahoma Press).
- Gent, J. A., Jr., and L.A. Morris. 1986. "Soil compaction from harvesting and site preparation in the Upper Gulf Coastal Plain," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 50:443-446.
- Gent, J. A., Jr., R. Ballard, A. E. Hassan, and D. K. Cassel. 1984. "Impact of harvesting and site preparation on physical properties of Piedmont forest soils," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 48:173-177.
- Hammel, J. E., M. E. Summer, and J. Burema. 1983. "Atterberg limits as indices of external areas of soils," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 47:1054-1056.
- Laws, W. D., and D. D. Evans. 1949. "The effects of long-time cultivation on some physical and chemical properties of two rendzina soil," *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 14:15-19.
- Le Bissonnais, Y., and D. Arrouays. 1997. "Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: II. Application to humic loamy soils with various organic carbon contents," *European J. Soil Sci.*, 48:39-48.
- Lyon, T. L., H. O. Buckman, and N. C. Brady. 1952. *The Nature and Properties of Soils*, 5th ed. (New York: Macmillan), p. 60.
- McCarthy, D. F. 1993. *Essentials of Soil Mechanics and Foundations*, 4th ed. (Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall).
- McNabb, D. H. 1979. "Correlation of soil plasticity with amorphous clay constituents," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 46:450-456.
- Mitchell, A. R. 1986. "Polyacrylamide application in irrigation water to increase infiltration," *Soil Sci.*, 141:353-358.
- Oades, J. M. 1993. "The role of biology in the formation, stabilization, and degradation of soil structure," *Geoderma*, 56:377-400.
- O'Nofio, O., and M. J. Singer. 1984. "Scanning electron microscope studies of surface crusts formed by simulated rainfall," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 48:1137-1143.
- Parker, M. M., and D. H. Van Lear. 1996. "Soil heterogeneity and root distribution of mature loblolly pine stands in Piedmont soils," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 60:1920-1925.
- Soil Survey Division Staff. 1993. *Soil Survey Manual*. USDA-NRSC Agricultural Handbook 48. (Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office), pp. 174-175.
- Tiessen, H., J. W. B. Stewart, and J. R. Bettany. 1982. "Cultivation effects on the amounts and concentration of carbon, nitrogen, and phosphorus in grassland soils," *Agron. J.*, 74:831-835.
- Tisdall, J. M. 1994. "Possible role of soil microorganisms in aggregation in soils," *Plant and Soil*, 159:115-121.
- Tisdall, J. M., and J. M. Oades. 1982. "Organic matter and water-stable aggregates in soils," *J. Soil Sci.*, 33:141-163.
- Unger, P. W., and T. C. Kaspar. 1994. "Soil compaction and root growth: A review," *Agron. J.*, 86:759-766.
- U.S. Department of Interior Teton Dam Failure Review Group. 1977. *Failure of Teton Dam*. Stock no. 024-003-00112-1. (Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office).
- Vimmerstadt, J., F. Scoles, J. Brown, and M. Schmittgen. 1982. "Effects of use pattern, cover, soil drainage class, and overwinter changes on rain infiltration on campsites," *J. Environ. Qual.*, 11:25-28.
- Voorhees, W. B. 1984. "Soil compaction, a curse or a cure?" *Solutions*, 28:42-47 (Peoria, Ill.: Solutions Magazine Inc.).
- Warkentin, B. P. 1961. "Interpretation of the upper plastic limits of clays," *Nature*, 190:287-288.

- Weil, R. R., and W. Kroontje. 1979. "Physical condition of a Davidson clay loam after 5 years of heavy poultry manure applications," *J. Environ. Qual.*, 8:389-392.
- Wilson, H. A., R. Gish, and G. M. Browning. 1947. "Cropping systems and season as factors affecting aggregate stability," *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 12:36-43.
- Wright, D. L., F. M. Rhoads, and R. L. Stanley, Jr. 1980. "High level of management needed on irrigated corn," *Solutions*, May/June: 24-36 (Peoria, Ill.: Solutions Magazine Inc.).

فصل پنجم: آب خاک، خصوصیات و رفتار

- Bowen, G. D. 1985. "Roots as components of tree productivity," in M. G. R. Cannell and J. E. Jackson (eds.), *Attributes of Trees as Crop Plants*. (Midlothian, Scotland: Institute of Terrestrial Ecology).
- Brown, E. A., C. E. Caviness, and D. A. Brown. 1985. "Response of selected soybean cultivars to soil moisture deficit," *Agron. J.*, 77:274-278.
- Cooney, J. J., and J. E. Peterson. 1955. *Avocado Irrigation*. Leaflet 50. California Agricultural Extension Service.
- Da Silva, A. P., and B. D. Kay. 1997. "Estimating the least limiting water range of soil from properties and management," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 61:877-883.
- DeMartinis, J. M., and S. C. Cooper. 1994. "Natural and man-made modes of entry in agronomic areas," in R. Honeycutt and D. Schabacker (eds.), *Mechanisms of Pesticide Movement in Ground Water*. (Boca Raton, Fla.: Lewis Publishers), pp. 165-175.
- Gardner, W., and J. A. Widtsoe. 1921. "The movement of soil moisture," *Soil Sci.*, 11:230.
- Hamza, M., and L. A. G. Aylmore. 1992. "Soil solute concentrations and water uptake by single lupin and radish plant roots: 1. Water extraction and solute accumulation," *Plant Soil*, 145:187-196.
- Hillel, D., 1998. *Environmental Soil Physics*. Orlando, FL: Academic Press, 500pp.
- Huck, M. G., B. Klepper, and H. M. Taylor. 1970. "Diurnal variations in root diameter," *Plant Physiol.*, 45:529.
- Hudson, B. D. 1994. "Soil organic matter and available water capacity," *J. Soil and Water Cons.*, 49:189-194.
- MacFall, J. S., and G. A. Johnson. 1994. "Use of magnetic resonance imaging of plants and soils," in S. H. Anderson and J. W. Hopmans (eds.), *Tomography of Soil-Water-Root Processes*. SSSA Special Publication no. 36. (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.), pp. 99-113.
- Mayaki, W. C., L. R. Stone, and I. D. Teare. 1976. "Irrigated and nonirrigated soybean, corn, and grain sorghum root systems," *Agron. J.*, 68:532-534.
- Richards, L. A. 1965. "Physical condition of water in soil," in *Agronomy 9: Methods of Soil Analysis*, Part 1. (Madison, Wis.: American Society of Agronomy).
- Waddell, J. T. and Weil, R. R. 1996. "Water distribution in soil under ridge-till and no-till corn," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 60:230-237.

فصل ششم: خاک و چرخه‌ی هیدرولوژی

- Aboukhaled, A., A. Alfaro, and M. Smith. 1982. *Lysimeters*. FAO Irrigation and Drainage Paper 39. (Rome: U.N. Food and Agriculture Organization).
- Alegre, J. C., D. K. Cassel, and D. E. Bandy. 1986. "Effects of land clearing and subsequent management on soil physical properties," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 50:1379-1384.
- Allen, R. G., T. A. Howell, W. O. Pruitt, W. I. Walter, and M. E. Jensen (eds.). 1991. *Lysimeters for Evapotranspiration and Environmental Measurements*. (New York: Am. Soc. Civ. Eng.).
- Beauchamp, K. H. 1955. "Tile drainage—its installation and upkeep," *The Yearbook of Agriculture (Water)*. (Washington, D.C.: U.S. Department of Agriculture), p. 513.
- Black, A. L. 1982. "Long-term N-P fertilizer and climate influences on morphology and yield components of spring wheat," *Agron. J.*, 74:651-57.
- CAST. 1988. *Effective Use of Water in Irrigated Agriculture*. Task Force Report no. 113. (Ames, Iowa: Council for Agricultural Science and Technology).
- CAST. 1996. *Future of Irrigated Agriculture*. Task Force Report no. 127. (Ames, Iowa: Council for Agricultural Science and Technology).
- Dreibelbis, F. R., and C. R. Amerman. 1965. "How much topsoil moisture is available to your crops?," *Crops and Soils*, 17:8-9.
- Fouss, J. L. 1974. "Drain tube materials and installation," in J. Van Schilfgaarde (ed.), *Drainage for Agriculture*. Agronomy Series no. 17. (Madison, Wis.: Amer. Soc. Agron.), pp. 147-177.

- Greb, B. W. 1983. "Water conservation: Central Great Plains," in H. E. Dregue and W. O. Willis (eds.), *Dryland Agriculture*. Agronomy Series no. 23. (Madison, Wis.: Amer. Soc. of Agron.).
- Haynes, J. L. 1954. "Ground rainfall under vegetative canopy of crops" *J. Amer. Soc. Agron.*, 46:67-94.
- Hillel, D. 1980. *Applications of Soil Physics*. (New York: Academic Press).
- Hillel, D. 1995. *The Rivers of Eden* (New York: Oxford University Press).
- Hillel, D. 1997. *Small-Scale Irrigation for Arid Zones*. FAO Development Series 2. (Rome: U.N. Food and Agriculture Organization).
- Hughes, H. S. 1980. *Conservation Farming*. (Moline, Ill.: John Deere and Company).
- Jury, W. A., and H. Fluhler. 1992. "Transport of chemicals through soil: Mechanisms, models, and field applications," *Advances in Agronomy*, 47:141-201.
- Kittridge, J. 1948. *Forest Influences: The Effects of Woody Vegetation on Climate, Water and Soil*. (New York: McGraw-Hill).
- Kuylenstierna, J. L., G. Björklund, and P. Najlis. 1997. "Future sustainable water use: Challenges and constraints," *J. Soil Water Conserv.*, 52:151-156.
- Linde, D. T., T. L. Watschke, A. R. Jarrett, and J. A. Borger. 1995. "Surface runoff assessment from creeping bent grass and perennial ryegrass turf," *Agron. J.*, 87:176-182.
- Lyon, T. L., H. O. Buckman, and N. C. Brady. 1952. *The Nature and Properties of Soils*, 5th ed. (New York: Macmillan).
- Pruitt, W. O., F. J. Lourence, and S. Von Oettingen. 1972. "Water use by crops as affected by climate and plant factors," *California Agriculture*, 26:10-14.
- Ritchie, J. T. 1983. "Efficient water use in crop production: Discussion on the generality of relations between biomass production and evapotranspiration," in H. M. Taylor, et al. (eds.), *Limitations to Efficient Water Use in Crop Production*. (Madison, Wis.: Amer. Soc. Agron., Crop Sci. Soc. Amer., Soil Sci. Soc. Amer.).
- Starrett, S. K., N. E. Christians, and T. Al Austin. 1996. "Movement of pesticides under two irrigation regimes applied to turfgrass," *J. Environ. Qual.*, 25:566-571.
- Soil Survey Staff. 1993. *National Soil Survey Handbook*. Title 430-VI. (Washington, D.C.: USDA Natural Resources Conservation Service).
- UNDP/WMO. 1974. *Hydrometeorological Survey of the Catchments of Lakes Victoria, Kyoja, and Albert*. Project RAF 66/025 (4 vols.), pp. 498-509.
- USDA 1974. *Summer Fallow in the Western United States*. Cons. Res. Rep. no. 17. (Washington, D.C.: USDA Agricultural Research Service).
- Waddell, J., and R. Weil. 1996. "Water distribution in soil under ridge-till and no-till corn," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 60:230-237.

فصل هفتم: تهویه و دمای خاک

- Arshad, A., and R. H. Azooz. 1996. "Tillage effects on soil thermal properties in a semiarid cold region," *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 60:561-567.
- Bartlett, R. J., and B. R. James. 1993. "Redox chemistry of soils," *Advances in Agronomy*, 50:151-208.
- Beard, J. B. and R. L. Green. 1994. "The role of turfgrasses in environmental protection and their benefits to humans," *J. Environ. Qual.*, 23:452-460.
- Buyanovsky, G. A., and G. H. Wagner. 1983. "Annual cycles of carbon dioxide level in soil air," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 47:1139-1145.
- CAST. 1994. *Wetland Policy Issues*. Publication no. CC1994-1. (Ames, Iowa: Council for Agricultural Science and Technology).
- Davidson, E. A., and S. E. Trumbore. 1995. "Gas diffusivity and production of CO₂ in deep soils of the eastern Amazon," *Tellus*, 47B:550-565.
- Dryness, C. T. 1976. "Effects of wildfire on soil wetability in the high cascades of Oregon," *USDA Forest Service Research Paper PNW-202*. (Washington, D.C.: USDA).
- Eswaren, H., P. Reich, P. Zdruli, and T. Levermann. 1996. "Global distribution of wetlands," *Amer. Soc. Agron. Abstracts*, 328.
- Fluker, B.J. 1958. "Soil temperature," *Soil Sci.*, 86:35-46.
- Hurt, G. W., P. M. Whited, and R. F. Pringle (eds.). 1996. *Field Indicators of Hydric Soils in the United States*. (Fort Worth, Tex.: USDA Natural Resources Conservation Service).
- McBride, M. B. 1994. *Environmental Chemistry of Soils*. (New York: Oxford University Press).

- Meek, B. D., and L. B. Grass. 1975. "Redox potential in irrigated desert soils as an indicator of aeration status," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 39:870-875.
- Meek, B. D., E. C. Owen-Bartlett, L. H. Stolzy, and C. K. Labanauskas. 1980. "Cotton yield and nutrient uptake in relation to water table depth," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 44:301-305.
- Merrill, S. D., A. L. Black, and A. Bauer. 1996. "Conservation tillage affects root growth of dryland spring wheat under drought," *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 60:575-583.
- Patrick, W. H., Jr. 1977. "Oxygen content of soil air by a field method," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 41:651-652.
- Patrick, W. H. Jr., and A. Jugsujinda. 1992. "Sequential reduction and oxidation of inorganic nitrogen, manganese, and iron in flooded soil," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 56:1071-1073.
- Rabenhorst, M. C., J. Bell, and P. McDaniel (eds.). 1998. *Quantifying Soil Hydromorphology*. Special Publication 54. (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.).
- Rykbest, K. A., L. Boersma, J. J. Mack, and W. E. Schmisser. 1975. "Yield response to soil warming: Vegetable crops," *Agron. J.*, 67:738-743.
- Sellers, P., R. Dickinson, D. Randall, K. Betts, F. Hall, J. Berry, G. Collatz, A. Denning, H. Mooney, C. Nobre, N. Sato, C. Field, and A. Henderson-Sellers. 1997. "Modeling the exchange of energy, water, and carbon between continents and the atmosphere," *Science*, 275:502-509.
- Sexstone, A. J., et al. 1985. "Direct measurement of oxygen profiles and denitrification rates in soil aggregates," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 49:645-651.
- Tiarks, A. E., W. H. Hudnall, J. F. Ragus, and W. B. Patterson. 1996. "Effect of pine plantation harvesting and soil compaction on soil water and temperature regimes in a semi-tropical environment," in A. Schulte and D. Ruhiyat (eds.), *Proceedings of international Congress on Soils of Tropical Forest Ecosystems 3rd Conference on Forest Soils: Vol. 3, Soil and Water Relationships*. (Samarinda, Indonesia: Mulawarman University Press).
- Tindall, J. A., R. B. Beverly, and D. E. Radcliff. 1991. "Mulch effect on soil properties and tomato growth using micro-irrigation," *Agron. J.*, 83:1028-1034.
- Trettin, C. C., M. Davidian, M. F. Jurgensen, and R. Lea. 1996. "Organic matter decomposition following harvesting and site preparation of a forested wetland," *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 60:1994-2003.
- Unger, P. W. 1978. "Straw mulch effects on soil temperatures and sorghum germination and growth," *Agron. J.*, 70:858-864.
- Veneman, P. L. M., D. L. Lindbo, and L. A. Spoks. 1998. "Soil moisture and redoximorphic features: A historical perspective," in M. J. Rabenhorst (ed.), *TITLE. Spec. Publ. Quantifying Soil Hydromorphology*. Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.).
- Welsh, D., D. Smart, J. Boyer, P. Minkin, H. Smith, and T. McCandless (eds.). 1995. *Forested Wetlands: Functions, Benefits, and Use of Best Management Practices*. (Radnor, Pa.: USDA Forest Service).
- Yavitt, J. B., T. J. Fahley, and J. A. Simmons. 1995. "Methane and carbon dioxide dynamics in a northern hardwood ecosystem," *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 59:796-804.

فصل هشتم: کلویدهای خاک، رفتار و اهمیت عملی

- Bellini, G., M. E. Sumner, D. E. Radcliffe, and N. P. Qafoku. 1996. "Anion transport through columns of highly weathered acid soil: Adsorption and retardation," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 60:132-137.
- Buseck, P. R. 1983. "Electron microscopy of minerals," *Amer. Scientist*, 71:175-185.
- Coleman, N. T., and A. Mehlich. 1957. "The chemistry of soil pH," in *The Yearbook of Agriculture (Soil)*. (Washington, D.C.: U.S. Department of Agriculture).
- Dixon, J. B., and S. B. Weed. 1989. *Minerals in Soil Environments*, 2d ed. (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.).
- Helling, C. S., et al. 1964. "Contribution of organic matter and clay to soil cation exchange capacity as affected by the pH of the saturated solution," *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 28:517-520.
- Holmgren, G. G. S., M. W. Meyer, R. L. Chaney, and R. B. Daniels. 1993. "Cadmium, lead, zinc, copper, and nickel in agricultural soils in the United States of America," *J. Environ. Qual.*, 22:335-348.
- Parker, J. C., D. E. Amos, and L. W. Zeianzny. 1982. "Water adsorption and swelling of clay minerals in soil systems," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 46:450-456.
- Reid, D. A. and A. L. Ulery. 1998. "Environmental applications of smectites," in J. Dixon, D. Schultze, W. Bleam, and J. Amonette (eds.), *Environmental Soil Mineralogy*. (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.).

- Seybold, C. A., and W. Mersie. 1996. "Adsorption and desorption of atrazine, deethylatrazine, deisopropylatrazine, hydroxyatrazine, and metolachlor in two soils in Virginia," *J. Environ. Qual.*, 25:1179-1185.
- Shamshuddin, J., and H. Ismail. 1995. "Reactions of ground magnesium limestone and gypsum in soils variable-charged minerals," *soil Sci.Soc.Amer.J.*, 59:106-112.

فصل نهم: واکنش خاک، اسیدیته و قلیائیت

- Adams, F., and Z. F. Lund. 1966. "Effect of chemical activity of soil solution aluminum on cotton root penetration of acid subsoils," *Soil Sci.*, 101:193-198.
- Barber, S. A. 1984. "Liming material and practices," in F. Adams (ed.), *Soil Acidity and Liming*, 2d ed. (Madison, Wis.: Amer. Soc. Agron.)
- Blevens, R. L., G. W. Thomas, M. S. Smith, W. W. Frye, and P. L. Cornelius. 1983. "Changes in soil properties after 10 years continuous non-tilled and conventionally tilled corn," *Soil Tillage Res.*, 3:135-146.
- de la Fuente, et al. 1997. "Aluminum tolerance in transgenic plants by alteration of citrate synthesis," *Science*, 276:1566-1568.
- Farina, M. P. W., and P. Channon. 1988. "Acid subsoil amelioration: II. Gypsum effects on growth and subsoil chemical properties," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 52:175-180.
- Hargrove, W. L., and G. W. Thomas. 1981. "Effect of Organic matter on exchangeable aluminum and plant growth in acid soils," In *Chemistry in the Soil Environment*. ASA Special Publication no. 40. (Madison, Wis.: Amer. Soc. Agron. and Soil Sci. Soc. Amer.).
- Helling, C. S., G. Chesters, and H. B. Corey. 1964. "Contributions of organic matter and clay to soil cation exchange capacity as affected by pH of the saturating solution," *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 28:517-520.
- Hinsinger, P., and R. J. Gilkes. 1996. "Mobilization of phosphate from phosphate rock and alumina-sorbed phosphate by the roots of ryegrass and clover as related to rhizosphere pH," *European J. Soil Sci.*, 47:523-532.
- Jenny, H., et al. 1968. "Interplay of soil organic matter and soil fertility with state factors and soil properties," in *Organic Matter and Soil Fertility*. Pontificiae Academia Scientiarum Scripta Varia 32. (New York: Wiley).
- Joslin, J. D., J. M. Kelly, and H. van Miegroet. 1992. "Soil chemistry and nutrition of North American spruce-fir stands: Evidence for recent change," *J. Environ. Qual.*, 21:12-30.
- Knoepp, J. D., and W. T. Swank. 1994. "Long term soil chemistry changes for aggrading forest systems," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 58:325-331.
- Likens, G. E., C. T. Driscoll, and D. C. Buso. 1996. "Longterm effects of acid rain: Response and recovery of a forest ecosystem," *Science*, 272:244-246.
- Magdoff, F. R., and R. J. Barlett. 1985. "Soil pH buffering revisited," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 49:145-148.
- Mehlich, A. 1964. "Influence of adsorbed hydroxyl and sulfate on neutralization of soil acidity," *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 28:492-496.
- Noble, A. D., M. E. Sumner, and A. K. Alva. 1988. "The pH dependency of aluminum phytotoxicity alleviation by calcium sulfate," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 52:1398-1402.
- Robarge, W. P., and D. W. Johnson. 1992. "The effects of acidic deposition on forested soils," *Advances in Agronomy*, 47:1-84.
- Robertson, W. K., M. C. Lutrick, and T. L. Yuan. 1982. "Heavy applications of liquiddigested sludge on three Ultisols: I. effects on soil chemistry," *J. Environ. Qual.*, 11:278-282.
- Ronse, A., L. De Temmerman, M. Guns, and R. De Borger. 1988. "Evaluation of acidity, organic matter content and CEC in uncultivated soils of Northern Belgium during the past 25 years," *Soil Sci.*, 146:453-460.
- Schollenberger, C. J., and R. M. Salter. 1943. "A chart for evaluating agricultural limestone," *J. Amer. Soc. Agron.*, 35:995-966.
- Shoemaker, H. E., E. O. McLean and P. F. Pratt. 1961. "Buffer methods for determining lime requirements of soils with appreciable amounts of extractable aluminum," *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 25:274-277.
- Smyth, T. J., and M. S. Cravo. 1992. "Aluminum and calcium constraints to continuous crop production in a Brazilian Amazon Oxisol," *Agron. J.*, 84:843-850.
- Springett, J. A. 1983. "Effect of five species of earthworms on some soil properties," *J. Applied Ecol.*, 20:865-872.

- Sumner, M. E. 1993. "Gypsum and acid soils: The world scene," *Advances in Agronomy*, 51:1-32.
- Tran, T. S., and W. van Lierop. 1981. "Evaluation and improvement of buffer-pH lime requirement methods," *Soil Sci.*, 131:178-188.
- U.S./Canada Work Group No. 2. 1982. *Atmospheric Science and Analysis. Final report*; H. L. Ferguson and L. Machita (Co-chairmen). (Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency).
- National Research Council. 1983. *Acid deposition: Atmospheric Processes in Eastern North America*. Washington, DC: National Research Council.

فصل دهم: خاک‌های قلیایی و تحت تأثیر نمک و مدیریت آنها

- Banuelos, G. S., H. A. Ajwa, B. Mackey, L. Wu, C. Cook, S. Akohoue, and S. Zambruzuski. 1997. "Evaluation of different plant species used for phytoremediation of high selenium," *J. Envir. Qual.*, 26:639-648.
- Barzegar, A. R., J. M. Oades, and P. Rengasamy. 1996. "Soil structure degradation and mellowing of compacted soils by saline-sodic solutions," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 60:583-588.
- Beek, K. L., W. A. Blokhuis, P. M. Driessen, N. Van Breeman, N. Brinkman, and L.J. Pons. 1980. "Problem soils: Their reclamation and management," in *ILRI Publication no. 27*, (Wageningen, Netherlands: ILRI), pp. 47-72.
- Bresler, E., B. L. McNeal, and D. L. Carter. 1982. *Saline and Sodic Soils, Principles—Dynamics—Modeling*. (Berlin: Springer-Verlag).
- Carter, D.L. 1981. "Salinity and plant productivity," in *CRC Handbook Series in Nutrition and Food*, (Boca Raton, Fla.: CRC Press).
- Crescimanno, G., M. Iovino, and G. Provenzano. 1995. "Influence of salinity and sodicity on soil structural and hydraulic characteristics," *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 59:1701-1708.
- Ilyas, M., R. W. Miller, and R. H. Qureski. 1993. "Hydraulic conductivity of saline-sodic soil after gypsum application," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 57:1580-1585.
- Maas, E. U. 1984. "Crop tolerance," *Calif. Agric.*, 38:20-21.
- National Academy of Sciences. 1990. *Saline Agriculture: Salt Tolerant Plants for Developing Countries*. (Washington, D.C.: National Academy Press).
- Nolan, B. T., and M. L. Clark. 1997. "Selenium in irrigated agricultural areas of the western United States," *J. Envir. Qual.*, 26:849-857.
- Retana, J., D. R. Parker, C. Arnrhein, and A. L. Page. 1993. "Growth and trace element concentrations of 5 plant species grown on a highly saline soil," *J. Environ. Qual.*, 22:805-811.
- Rhoades, J. D. 1993. "Electrical conductivity methods for measuring and mapping soil salinity," *Advances in Agronomy*, 49:201-251.
- Rhoades, J. D., and D. L. Corwin. 1984. "Monitoring soil salinity," *J. Soil and Water Cons.*, 39:172-175.
- Rowell, D. L. 1988. "Soil acidity and alkalinity," in A. Wild (ed.), *Russell's Soil Condition and Plant Growth*, 11th ed. (New York: Longman Scientific and Technical/Wiley).
- Royo, A., and R. Aragues. 1993. "Validation of salinity crop production functions obtained with the triple line source sprinkler system," *Agron J.*, 85:795-800.
- USDA. 1996. *Americas Private Land: A Geography of Hope*. (Washington, D.C.: USDA Natural Resources Conservation Service).
- Zahow, M. F., and C. Amrhein. 1992. "Reclamation of a saline sodic soil using synthetic polymers and gypsum," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 56:1257-1260.

فصل یازدهم: موجودات زنده و بوم‌شناسی خاک‌ها

- Beare, M. H. 1997. "Fungal and bacterial pathways of organic matter decomposition and nitrogen mineralization in arable soils," in L. Brussaard and R. Ferrera-Cerrato, *Soil Ecology in Sustainable Agricultural Systems*. (Boca Raton, Fla: Lewis Publishers).
- Bethlenfalvay, G. J., and R. G. Linderman (eds.). 1992. *Mycorrhizae in Sustainable Agriculture*. ASA Special Publication no. 54. (Madison, Wis.: Amer. Soc. of Agron.).
- Chino, M. 1976. "Electron microprobe analysis of zinc and other elements within and around rice root growth in flooded soils," *Soil Sci. and Plant Nut. J.*, 22:449.
- de Vleeschauwer, D., and R. Lal. 1981. "Properties of worm casts under secondary tropical forest regrowth, So; Sci., 132:175-181.

- Edwards, C. (ed.). 1998. *Earthworm Ecology*. (Delray Beach, Fla: St. Lucie Press).
- Fitzmaurice, L. 1995. "Giving Rhizobiurn the competitive edge," *Wisconsin Bioissues*, 6:17.
- Gilbert, G. S., J. Handelsman, and J. L. Parke. 1994. "Root camouflage and disease control," *Phytopathology*, 84:222-225.
- Hendrix, P. F. (ed.). 1995. *Earthworm Ecology and Biogeography in North America*. (Boca Raton, Fla.: Lewis Publishers).
- Hendrix, P. F., D. A. Crossley, Jr., J. M. Blair, and D. C. Coleman. 1990. "Soil biota as components of sustainable agricultural agroecosystems," in C. Edwards and R. Lal, (eds.), *Sustainable Agricultural Systems*. (Ankeny, Iowa: Soil Water Conserv. Soc. Am.), pp. 637-654.
- Ingham, E. R., and W. G. Thies. 1996. "Responses of soil foodweb organisms in the first year following clearcutting and application of chloropicrin to control laminated root rot," *Applied Soil Ecology*, 3:35-47.
- Killham, K. 1994. *Soil Ecology*. (New York: Cambridge University Press).
- Kladivko, E. J., A. D. Mackay, and J. M. Bradford. 1986. "Earthworms as a factor in the reduction of soil crusting," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 50:191-196.
- Lal, R. 1987. *Tropical Ecology and Physical Edaphology*. (New York: Wiley).
- Lambert, D. H., D. E. Baker, and H. Cole, Jr. 1979. "The role of Mycorrhizae in the interactions of phosphorus with zinc, copper, and other elements," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 43:976-980.
- Lee, K. E. 1985. *Earthworms, Their Ecology and Relationships with Soils and Land Use*. (New York: Academic Press).
- Macfadyen, A. 1963. In J. Doeksen and J. van der Drift (eds.), *Soil Organisms* (Amsterdam: North-Holland).
- Menge, J. A. 1981. "Mycorrhizae agriculture technologies," in *Background Papers for Innovative Biological Technologies for Lesser Developed Countries*, Paper no. 9., Office of Technology Assessment Workshop, Nov. 24-25, 1980. (Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office), pp. 383-424.
- Mooreman, T. B., and S. S. Harper. 1989. "Transformation and mineralization of Metribuzin in surface and subsurface horizons of a Mississippi Delta soil," *J. Environ. Qual.*, 18:302-306.
- Paul, E. A., and F. E. Clark. 1996. *Soil Microbiology and Biochemistry*, 2nd ed. (New York: Academic Press).
- Read, D. J., D. Lewis, A. Fitter, and I. Alexander. 1992. *Mycorrhizas in Ecosystems*. (Wallingford, U.K.: CAB International).
- Rovira, A. D., R. C. Foster, and J. K. Martin. 1979. "Origin, nature and nomenclature of the organic materials in the rhizosphere," in J. L. Harley and R. S. Russell (eds.), *The Soil-Root Interface*. (New York: Academic Press).
- Stehouwer, R. C., W. A. Dick, and S. J. Traina. 1994. "Sorption and retention of herbicides in vertically oriented earthworm and artificial burrows," *J. Environ. Qual.*, 23:286-292.
- Sylvia, D., J. Fuhrmann, P. Hartel, and D. Zuberer. 1997. *Principles and Applications of Soil Microbiology*. (Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall).
- Weil, R. R., and W. Kroontje. 1979. "Organic matter decomposition in a soil heavily amended with poultry manure," *J. Environ. Qual.*, 8:584-588.
- Whitford, W. G., D. W. Freckman, P. F. Santos, N. Z. Elkins, and L. W. Parker. 1982. "The role of nematodes in decomposition in desert ecosystems," in Diana Freckman, (ed.), *Nematodes in Soil Ecosystems*. (Austin, Tex.: University of Texas Press), pp. 98-116.

فصل دوازدهم: ماده‌ی آلی خاک

- Batjes, N. H. 1996. "Total carbon and nitrogen in the soils of the world," *European J. Soil Sci.*, 47:151-163.
- Bouwman, A. F. (ed.). 1990. *Soils and the Greenhouse Effect*. (Chichester, U.K.: Wiley).
- Brady, N. C. 1990. *The Nature and Properties of Soils*, 10th ed. (New York: MacMillan).
- Cadisch, G. and K. E. Giller (eds.). 1997. *Driven by Nature—Plant Litter Quality and Decomposition*. (Wallingford, U.K.: CAB International).
- Chefetz, B., P. Hatcher, Y. Hadar, and Y. Chen. 1996. "Chemical and biological characterization of organic matter during composting of municipal solid waste," *J. Environ. Qual.*, 25:776-785.
- Chen, Y., and T. Aviad. 1990. "Effects of humic substances in plant growth," in P. MacCarthy, C. E. Clapp, R. L. Malcolm, and P. R. Bloom (eds.), *Humic Substances in Soil and Crop Sciences: Selected Readings*. (Madison, Wis.: ASA Special Publications), pp. 161-186.

- Dale, V. H., R. A. Houghton, A. Grainger, A. E. Lugo, and S. Brown. 1993. "Emissions of greenhouse gases from tropical deforestation and subsequent uses of the land," in National Research Council, Sustainable Agriculture and the Environment in the Humid Tropics. (Washington, D.C.: National Academy Press), pp. 215-260.
- Eswaran, H., E. Van Den Berg, and P. Reich. 1993. "Organic carbon in soils of the world," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 57:192-194.
- Frimmel, F. H., and R. F. Christman. 1988. *Humic Substances and Their Role in the Environment*. (New York: Wiley).
- Haynes, R. J. 1986. "The decomposition process: Mineralization, immobilization, humus formation and degradation," in R. J. Haynes (ed.), *Mineral Nitrogen in the Plant-Soil System*. (New York: Academic Press).
- Huang, P. M., and M. Schnitzer (eds.). 1986. *Interactions of Soil Minerals with Natural Organics and Microbes*. SSSA Special Publication no. 17. (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.).
- Inderjit, K. M., M. Dakshini, and F. A. Einhellig. 1995. *Allelopathy—Organisms, Processes, and Applications*. ACS Symposium Series 582. (Washington, D.C.: American Chemical Society).
- Jenkinson, D. S., and A. E. Johnson. 1977. "Soil organic matter in the Hoosfield barley experiment," *Rep. Rothamstead Exp. Stn. for 1976*, 2:87-102.
- Jenny, H. 1941. *Factors of Soil formation*. (New York: McGraw-Hill).
- Kern, J. S. 1994. "Spatial patterns of soil organic carbon in the contiguous United States," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 58:439-455.
- Loll, M. J., and J. M. Bollag. 1983. "Protein transformation in soil," *Advances in Agronomy*, 36:352-382.
- Magdoff, F. 1992. *Building Soils for Better Crops*. (Lincoln, Nebr.: University of Nebraska Press).
- Mohr, E. C. J., and P. A. van Baren. 1954. *Tropical Soils*. (The Hague: N. V. Uitgeverij, W. Van Hoeve).
- Neue, H. U., R. Wasserman, R. S. Lantin, M. C. Alberto, and J. B. Aduna. 1994. "Methane production potential of soils," *International Rice Research Notes*, 19:37-38. (Manila, Philippines: Rice Research Institute).
- Nichols, J. D. 1984. "Relation of organic carbon to soil properties and climate in the southern Great Plains," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 48:1382-1384.
- Odell, R. T., S. W. Melsted, and V. M. Walker. 1984. "Changes in organic carbon and nitrogen of Morrow plots under different treatments 1904-1973," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 137:160-171.
- Paustian, K., W. J. Parton, and J. Persson. 1992. "Modeling soil organic matter-amended and nitrogen-fertilized long-term plots," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 56:476-488.
- Rasmussen, P. E., and C. R. Rhode. 1988. "Long-term tillage and nitrogen fertilization effects on organic nitrogen and carbon in a semi-arid soil," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 52:1114-1117.
- Soil Survey Staff. 1975. *Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*. Agricultural Handbook no. 436 (Washington, D.C.: USDA Natural Resources Conservation Service).
- Stevenson, F. J. 1986. *Cycles of Soil*. (New York: Wiley).
- Stevenson, F. J. 1994. *Humus Chemistry—Genesis, Composition Reactions*, 2nd ed. (New York: Wiley).
- Stewart, B. A., R. Lal, and S. A. El-Swaify. 1991. "Sustaining the resource base of an expanding world agriculture," in R. Lal and F. J. Pierce (eds.), *Soil Management for Sustainability*. (Ankeny, Iowa: Soil and Water Conservation Soc.).
- Swift, M. J., O. W. Heal, and J. M. Anderson. 1979. *Decomposition in Terrestrial Ecosystems*. Studies in Ecology, vol. 5. (Berkeley: University of California Press).
- Tate, R. L. 1987. *Soil Organic Matter: Biological and Ecological Effects*. (New York: Wiley).
- Tian, G., B. T. Kang, and L. Brussaard. 1992. "Biological effects of plant residues with contrasting chemical compositions under humid, tropical conditions—decomposition and nutrient release," *Soil Biol. and Biochem.*, 24:1051-1060.
- Tian, G. B., L. Brussaard, and B. T. Kang. 1995. "An index for assessing the quality of plant residues and evaluating their effects on soil and crop in the (sub-) humid tropics," *Applied Soil Ecol.*, 2:25-32.
- Waksman, S. A. 1948. *Humus*. (Baltimore, Md.: Williams & Wilkins).
- Wardle, D. A., O. Zackrisson, G. Hörnberg, and C. Gallet. 1997. "The influence of island size on ecosystem properties," *Science*, 277:1296-1299.
- Willison, T., R. Cook, A. Müller, and D. Powlson. 1996. "CH₄ oxidation in soils fertilized with organic and inorganic N: Differential effects," *Soil Biol. and Biochem.*, 28:135-136.

- Weil, R. R., P. W. Benedetto, L. J. Sikora, and V. A. Bandel. 1988. "Influence of tillage practices on phosphorus distribution and forms in three Ultisols," *Agron. J.*, 80:503-509.
- Weil, R. R., and G. S. Belmont. 1987. "Interactions between winged bean and grain amaranth," *Amaranth Newsletter*, 3(1):3-6.

فصل سیزدهم: اقتصاد ازت و گوگرد در خاک

- Addiscott, T. M., A. P. Whitmore, and D. S. Powlson. 1991. *Farming, Fertilizers and the Nitrate Problem*. (Wallingford, U.K.: CAB International).
- Baethgen, W. E., and M. M. Alley. 1987. "Nonexchanged ammonium nitrogen contributions to plant available nitrogen," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 51:110-115.
- Broadbent, F. E., T. Nakashima, and G. Y. Chang. 1982. "Estimation of nitrogen fixation by isotope dilution In field and greenhouse experiments," *Agron. J.*, 74:625-628.
- Bronson, K.F., et al. 1997. "Automated chamber measurements of methane and nitrous oxide flux in a flooded rice soil: I. Residue, nitrogen and water management; II. Fallow period emissions," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 61:981-993.
- Burns, R. C., and R. W. F. Hardy. 1975. *Nitrogen fixation in Bacteria and Higher Plants*. (Berlin: Springer-Verlag).
- Castellano, S. D., and R. P. Dick. 1991. "Cropping and sulfur fertilization influence on sulfur transformations in soil," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 54:114-121.
- Chichester, F. W., and S. J. Smith. 1978. "Disposition of ¹⁵N-labeled fertilizer nitrate applied during corn culture field lysimeters," *J. Environ. Qual.*, 7:227-233.
- Colbourn, P. 1993. "Limits to denitrification in two pasture soils in a maritime temperate climate," *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 43:49-68.
- David, M. B., M. J. Mitchell, and J. P. Nakas. 1982. "Organic and inorganic sulfur constituents of a forest soil and their relationship to microbial activity," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 46:847-852.
- Dutch, J., and P. Ineson. 1990. "Denitrification of an upland forest site," *Forestry*, 63:363-376.
- Emsley, J. 1991. "Metals trace the secrets of nitrogen fixation," *New Scientist*, 131(1784):19.
- Hanson, G. C., P. M. Groffman, and A. J. Gold. 1994. "Denitrification in riparian wetlands receiving high and low groundwater nitrate inputs," *J. Environ. Qual.*, 23:917-922.
- Hauck, R. D. (ed.). 1984. *Nitrogen in Crop Production*. (Madison, Wis.: Amer. Soc. Agron., Crop Sci. Soc. Amer., Soil Sci. Soc. Amer.).
- Hinsinger, P., and R. J. Gilkes. 1996. "Mobilization of phosphate from phosphate rock and aluminum-sorbed phosphate by the roots of ryegrass and clover as related to rhizosphere pH," *European J. Soil Sci.*, 47:533-544.
- Jenkinson, D. S. 1990. "An introduction to the global nitrogen cycle," *Soil Use and Management*, 6:56-61.
- Johannson, O. 1960. "On sulfur problems in Swedish agriculture," *Kgl. Lanabr. Ann.*, 25:57-169.
- Kirchmann, H., F. Pichimayer, and M. H. Gerzabek. 1996. "Sulfur balances and sulfur-34 abundance in a long-term fertilizer experiment," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 60:174-178.
- Klemmedson, J. O. 1994. "New Mexican locust and parent material: Influence on forest floor and soil macronutrients," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 58:974-980.
- Leffelaar, P. A. 1986. "Dynamics of partial anaerobiosis, denitrification and water in a soil aggregate," *Soil Sci.*, 142:352-366.
- Leffelaar, P. A., and W. W. Wessel. 1988. "Denitrification in a homogeneous, closed system: Experimental and simulation," *Soil Sci.*, 146:335-349.
- Leuch, D., S. Haley, P. Liapis, and B. McDonald. 1995. *The Eu Nitrate Directive and CAP Reform: Effects on Agricultural Production, Trade and Residual Soil Nitrogen*. Report 255. (Washington, D.C.: USDA Economic Research Service).
- Mekonnen, K., R. J. Buresh, and B. Jama. 1997. "Root and inorganic nitrogen distributions in Sesbania fallow, natural fallow, and maize fields," *Plant and Soil*, in press.
- Mitchell, M. J., et al. 1992. "Sulfur dynamics of forest ecosystems," in Howarth, et al. (eds.), *Sulfur Cycling on the Continents*, 1992 SCOPE. (New York: Wiley).
- National Academy of Sciences. 1983. *Acid Deposition: Atmospheric Processes in Eastern North America*. (Washington, D.C.: National Academy Press).
- National Research Council. 1993. *Soil and Water Quality: An Agenda for Agriculture*. (Washington, D.C.: National Academy of Sciences).

- Olsen, A. R., and A. L. Slavich. 1986. Acid Precipitation in North America: 1984 Annual Data Summary, from Acid Deposition System Data Base. Environmental Protection Agency Report EPA/600/4-86/033. (Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency).
- Owens, L. B., W. M. Edwards, and R. W. Van Keuren. 1992. "Nitrate levels in shallow groundwater under pastures receiving ammonium nitrate or slow-release nitrogen fertilizer," *J. Environ. Qual.*, 21(4):607-613.
- Patrick, W. H., Jr. 1982. "Nitrogen transformations in submerged soils," in F. J. Stevenson (ed.), *Nitrogen in Agricultural Soils*. Agronomy Series no. 27 (Madison, Wis.: Amer. Soc. Agron., Crop Sci. Soc. Amer., Soil Sci. Soc. Amer.).
- Power, J. F. 1981. "Nitrogen in the cultivated ecosystem," in F. E. Clark and T. Rosswall (eds.), *Terrestrial Nitrogen Cycles—Processes, Ecosystem Strategies and Management Impacts*. Ecological Bulletin no. 33. (Stockholm, Sweden: Swedish National Research Council), pp. 529-546.
- Prasad, R., and J. F. Power. 1995. "Nitrification inhibitors for agriculture, health and the environment," *Advances in Agronomy*, 54:233-280.
- Sanchez, P. A., R. J. Buresh, and R. B. Leakey. 1997. "Trees, soils and food security," in *Philosophical Transactions of the Royal Society, London, Series A*, 355.
- Schindler, S. C., et al. 1986. "Incorporation of 35S-sulfate into inorganic and organic constituents of two forest soils," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 150:457-462.
- Smith, S. J., D. W. Dillow, and L. B. Young. 1982. "Disposition of fertilizer nitrates applied to sorghum—Sudan grass in the Southern Plains," *J. Environ. Qual.*, 11:341-344.
- Stevenson, F. J. (ed.). 1982. *Nitrogen in Agricultural Soils*. Agronomy Series no. 22. (Madison, Wis.: Amer. Soc. Agron., Crop Sci. Soc. Amer., Soil Sci. Soc. Amer.).
- Tabatabai, S. J. 1986. *Sulfur in Agriculture*. Agronomy Series no. 27 (Madison, Wis.: Amer. Soc. Agron., Crop Sci. Soc. Amer., Soil Sci. Soc. Amer.).
- Torrey, J. G. 1978. "Nitrogen fixation by actinomycete-induced angiosperms," *BioScience*, 28:586-592.
- U.S./Canada Work Group No. 2. 1982. *Atmospheric Sciences and Analysis. Final Report*; J. L. Ferguson and L. Machata (Cochairmen). (Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency).
- Walker, T. W., et al. 1956. "Fate of labeled nitrate and ammonium nitrogen when applied to grass and clover grown separately and together," *Soil Sci.*, 81:339-352.
- Wang, F. L. and A. K. Alva. 1996. "Leaching of nitrogen from slow-release urea sources in sandy soils," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 60:1454-1458.
- Whitehead, D. C. 1964. "Soil and plant nutrition aspects of the sulfur cycle," *Soils and Fertilizers*, 27:1-8.

فصل چهاردهم: فسفر و پتاسیم خاک

- Buresh, R. J., P. C. Smithson, and D. T. Hellums. 1997. "Building soil phosphorus capital in Africa," in R. J. Buresh, P. A. Sanchez, and F. Calhoun (eds.), *Replenishing Soil Fertility in Africa*. SSSA Special Publication no. 51. (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.).
- Brady, N. C. 1974. *The Nature and Properties of Soils*, 8th ed. (New York: Macmillan).
- Cogger, C., and J. M. Duxbury. 1984. "Factors affecting phosphorus loss from cultivated organic soils," *J. Environ. Qual.*, 13:111-114.
- Eghball, B., G. D. Binford, and D. D. Baltensperger. 1996. "Phosphorus movement and adsorption in a soil receiving long-term manure and fertilizer application," *J. Environ. Qual.*, 25:1339-1343.
- Evans, C. E., and O. J. Attoe. 1948. "Potassium supplying power of virgin and cropped soils," *Soil Sci.*, 66:323-334.
- Fares, F., et al. 1974. "Quantitative survey of organic phosphorus in different soil types," *Phosphorus in Agriculture*. (Madison, Wis.: Amer. Soc. Agron.), pp. 25-40.
- Fox, R. L. 1981. "External phosphorus requirements of crops," in *Chemistry in the Soil Environment*. ASA Special Publication no. 40. (Madison, Wis.: Amer. Soc. Agron. and Soil Sci. Soc. Amer.), pp. 223-239.
- Gahoonia, T. S., N. Claassen, and A. Jung. 1992. "Mobilization of phosphate in different soils by ryegrass supplied with ammonium or nitrate," *Plant and Soil*, 140:241-248.
- Gholston, L. E., and C. D. Hoover. 1948. "The release of exchangeable and nonexchangeable potassium from several Mississippi and Alabama soils upon continuous cropping," *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 13:116-121.

- Grewal, J. S., and J. S. Kanwar. 1976. Potassium and Ammonium Fixation in Indian Soils (review). (New Delhi, India: Indian Council for Agricultural Research).
- Khasawneh, F. E., et al. (eds.). 1980. The Role of Phosphorus in Agriculture. (Madison, Wis.: Amer. Soc. Agron.).
- Kuo, S. 1988. "Application of modified Langmuir isotherm to phosphate sorption by some acid soils," Soil Sci. Soc. Amer. J., 52:97-102.
- Magdoff, F. R., and R. J. Bartlett. 1980. "Effect of liming acid soils on potassium availability," Soil Sci., 129:12-14.
- Mandzak, J. M., and J. A. Moore. 1994. "The role of nutrition in the health of inland Western forests," J. Sustainable Forestry, 2:191-210.
- McLean, E. O. 1978. "Influence of clay content and clay composition on potassium availability," in G. S. Sekhon (ed.). Potassium in Soils and Crops. (New Delhi, India: Potash Research Institute of India), pp. 1-19.
- Mengel, K., and E. A. Kirkby. 1987. Principles of Plant Nutrition, 4th ed. (Bern, Switzerland: International Potash Institute).
- Munson, R. D. (ed.). 1985. Potassium in Agriculture. (Madison, Wis.: Amer. Soc. Agron.).
- Nair, K. P. P. 1996. "The buffering power of plant nutrients and effects on availability," Advances in Agronomy, 57:237-287.
- Nair, V. D., A. A. Graetz, and K. M. Portier. 1995. "Forms of phosphorus in soil profiles from dairies of South Florida," Soil Sci. Soc. Amer. J., 59:1244-1249.
- Nowak, C. A., R. B. Downard, Jr., and E. H. White. 1991. "Potassium trends in red pine plantations at Pack Forest. New York," Soil Sci. Soc. J., 55:847-850.
- Olsen, S. R., and F. E. Khasawneh. 1980. "Use and limitations of physical-chemical criteria for assessing the status of phosphorus in soils," in F. E. Khasawneh, et al. (eds.), The Role of Phosphorus in Agriculture. (Madison, Wis.: Amer. Soc. of Agron.).
- Porter, R. M., J. E. Ayers, M. W. Johnson, Jr., and P. E. Nelson. 1981. "Influence of differential phosphorus accumulation on corn stalk rot," Agron. J., 73:283-287.
- Raven, K. P., and L. R. Hossner. 1993. "Phosphorus desorption quantity-intensity relationships in soils," Soil Sci. Soc. Amer. J., 57:1501-1508.
- Richter, D. D., et al. 1994. "Soil chemical change during three decades in an old-field Loblolly pine (*Pinus taeda* L.) ecosystem," Ecology, 75:1463-1473.
- Saa, A., M. C. Trasar-Cepeda, B. Soto, F. Gil-Sotres, and F. Diaz-Fierros. 1994. "Forms of phosphorus in sediments eroded from burnt soils," J. Environ. Qual., 23:739-746.
- Sample, E. C., et al. 1980. "Reactions of phosphate fertilizers in soils," in E. E. Khasawneh, et al. (eds.), The Role of Phosphorus in Agriculture. (Madison, Wis.: Amer. Soc. Agron.).
- Sanchez, P. A., et al. 1997. "Soil fertility replenishment in Africa: An investment in natural resource capital," in R. J. Buresh, P. A. Sanchez, and F. Calhoun (eds.), Replenishing Soil Fertility in Africa. SSSA Special Publication no. 51. (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.).
- Sharpley, A. N. 1990. "Reaction of fertilizer potassium in soils of differing mineralogy," Soil Sci., 49:44-51.
- Sloan, J. J., N. T. Basta, and R. L. Westerman. 1995. "Aluminum transformation and solution equilibria induced by banded phosphorus fertilizer in acid soil," Soil Sci. Soc. Amer. J., 59:357-364.
- Smith, S. J., A. N. Sharpley, J. W. Nancy, W. A. Berg, and O. R. Jones. 1991. "Water quality impacts associated with wheat culture in the Southern Plains," J. Environ. Qual., 20:244-249.
- Soltanpour, P. N., R. L. Fox, and R. C. Jones. 1988. "A quick method to extract organic phosphorus from soils," Soil Sci. Soc. Amer. J., 51:255-256.
- Stevenson, F. J. 1986. Cycles of Soil Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, and Micronutrients. (New York: Wiley).
- Vaithyanathan, P., and D. L. Correll. 1992. "The Rhode River watershed: Phosphorus distribution and export in forest and agricultural soils," J. Environ. Qual., 21:280-288.
- Weil, R. R., P. W. Benedetto, L. J. Sikora, and V. A. Bandell. 1988. "Influence of tillage practices on phosphorus distribution and forms in three Ultisols," Agron. J., 80:503-509.

فصل پانزدهم: عناصر غذایی کم مصرف

- Brown, P. H., R. M. Welch, and E. E. Gary. 1987. "Nickel: A micronutrient essential for higher plants," Plant Physiol., 85:801-803.

- Clemens, D. F., B. M. Whitehurst, and G. B. Whitehurst. 1990. "Chelates in agriculture," *Fertilizer Research*, 25:127-131.
- Goldberg, S., H. S. Forster, and C. L. Godfrey. 1996. "Molybdenum adsorption on oxides, clay minerals, and soils," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 60:425-432.
- Hamilton, M. A., D. T. Westermann, and D. W. James. 1993. "Factors affecting zinc uptake in cropping systems," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 57:1310-1315.
- Haygarth, P. M., A. F. Harrison, and K. C. Jones. 1995. "Plant selenium from soil and the atmosphere," *J. Environ. Qual.*, 24:768-771.
- Lindsay, W. L. 1972. "Inorganic phase equilibria of micronutrients in soils," in J. J. Mortvedt, P. M. Giordano, and W. L. Lindsay (eds.), *Micronutrients in Agriculture* (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.).
- Lovley, D. R. 1996. "Microbial reduction of iron, manganese and other metals," *Advances in Agronomy*, 54:175-231.
- Marschner, H., A. Kalisch, and V. Romheld. 1974. "Mechanism of iron uptake in different plant species," *Proc. 7th Int. Colloquium on Plant Analysis and Fertilizer Problems*, Hanover, West Germany.
- Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*, 2d ed. (New York: Academic Press).
- Mengel, K., and E. A. Kirkby. 1987. *Principles of Plant Nutrition*, 4th ed. (Bern, Switzerland: International Potash Institute).
- Mortvedt, J. J., F. R. Cox, L. M. Shuman, and R. M. Welch (eds.). 1991. *Micronutrients in Agriculture*. SSSA Book Series, no. 4. (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.).
- Murphy, L. S., and L. M. Walsh. 1972. "Correction of micronutrient deficiencies with fertilizers," in J. J. Mortvedt, P. M. Giordano, and W. L. Lindsay (eds.), *Micronutrients in Agriculture*. (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.).
- Myneni, S. C. B., T. K. Tokunaga, and G. E. Brown. 1997. "Abiotic selenium redox transformations in the presence of Fe (II,III) oxides," *Science*, 278:1106-1109.
- Olsen, R. A., R. B. Clark, and J. H. Bennett. 1981. "The enhancement of soil fertility by plant roots," *Amer. Scientist*, 69:378-384.
- Ryan, J., and S. N. Hariri. 1983. "Transformation of incubated micronutrients in calcareous soils," *Soil Sci. Soc. Amer. Jour.*, 47:806-810.
- Sillanpaa, M. 1982. *Micronutrients and the Nutrient Status of Soils: A Global Study*. (Rome: U.N. Food and Agricultural Organization).
- Viets, F. J., Jr. 1965. "The plants' need for and use of nitrogen," in *Soil Nitrogen* (Agronomy, no. 10). (Madison, Wis.: Amer. Soc. Agron.).
- Weil, R. R., C. D. Foy, and C. A. Coradetti. 1997. "Influence of soil moisture regimes on subsequent soil manganese availability and toxicity in two cotton genotypes," *Agron. J.*, 89:1-8.
- Weil, R. R., and Sh. Sh. Holah. 1989. "Effects of submergence on the availability of micronutrients in three Ultisols," *Plant and Soil*, 114:147-157.
- Welch, R. M. 1995. "Micronutrient nutrition of plants," *Critical Reviews in Plant Science*, 14(1):49-82.
- Yermiyahu, U., R. Keren, and Y. Chen. 1995. "Boron sorption by soil in the presence of composted organic matter," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 59:405-409.

فصل شانزدهم: مدیریت عملی عناصر غذایی

- Attiwill, P. M., and G. W. Leeper. 1987. *Forest Soils and Nutrient Cycles*. (Melbourne, Australia: Melbourne University Press).
- Babcock, B. A., and G. R. Pautsch. 1997. "Moving from uniform to variable fertilizer rates on Iowa corn: Effects on rates and returns," *CARD Working Paper 97-WP182*. (Ames, Iowa: Iowa State University Center for Agricultural and Rural Development).
- Belt, G. H., and J. O. Laughlin. 1994. "Buffer strip design for protecting water quality and fish habitat," *Western J. Applied Forestry*, 9(2):4145.
- Bormann, F. H., and G. E. Likens. 1979. *Pattern and Process in a Forested Ecosystem*. (New York: Springer-Verlag).
- Bumb, B. L., and C. A. Baanante. 1996. *The Role of Fertilizer in Sustaining Food Security and Protecting the Environment to 2020*. Food, Agriculture and the Environment Discussion Paper 17. (Washington, D.C.: International Food Policy Research Institute).
- Cerrato, M. E., and A. M. Blackmer. 1990. "Comparison of models from describing corn yield response to nitrogen fertilizer," *Agron. J.*, 98:138-143.

- Chauby, I., D. R. Edwards, T. C. Daniel, P. A. Moore, Jr., and D. J. Nichols. 1994. "Effectiveness of vegetative filter strips in retaining surface-applied swine manure constituents," *Trans. Am. Soc. Agric. Engineers*, 37:845-850.
- Cope, J. T., C. E. Evans, and H. C. Williams. 1981. *Soil Test Fertilizer Recommendations for Alabama Crops. Circular 251*. (Auburn, Ala.: Auburn University Agriculture Experimental Station).
- Ebelhar, S. A., W. W. Frye, and R. L. Blevins. 1984. "Nitrogen from legume cover crops for no-tillage corn," *Agron. J.*, 76:51-55.
- Eghball, B., and J. F. Power. 1994. "Beef cattle feedlot manure management," *J. Soil and Water Conservation*, 49:113-122.
- FAO. 1977. *China: Recycling of Organic Wastes in Agriculture*. FAO Soils Bulletin 40. (Rome: U.N. Food and Agriculture Organization).
- Gardner, G. 1997. *Recycling Organic Waste: From Urban Pollutant to Farm Resource*. Worldwatch Paper 135. (Washington, D.C.: Worldwatch Institute).
- He, Xin-Tao, T. Logan, and S. Traina. 1995. "Physical and chemical characteristics of selected U.S. municipal solid waste composts," *J. Environ. Qual.*, 24:543-552.
- Loehr, R.C., et al. 1979. *Land Application of Wastes, Vol. 1*. (New York: Van Nostrand Reinhold).
- Magdoff, F., L. Lanyon, and B. Liebhardt. 1997. "Nutrient cycling, transformations, and Flows: Implications for a more sustainable agriculture," *Advances in Agronomy*, 60:2-73.
- National Research Council. 1993. *Soil and Water Quality: An Agenda for Agriculture*. (Washington, D.C.: National Academy of Sciences).
- Olson, R. A., K. D. Frank, P. H. Graboushi, and G. W. Rehm. 1982. "Economic and agronomic impacts of varied philosophies of soil testing," *Agron. J.*, 74:492-499.
- PPI. 1996. "Site-specific nutrient management systems for the 1990's." Pamphlet. (Norcross, Ga.: Potash and Phosphate Institute and Foundation for Agronomic Research; Saskatoon, Sask.: Potash Phosphate Institute of Canada). Canada.
- Reddy, G. B., and K. R. Reddy. 1993. "Fate of nitrogen-15 enriched ammonium nitrate applied to corn," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 57:111-115.
- Reuter, D. J., and J. B. Robinson. 1986. *Plant Analysis: An Interpretation Manual*. (Melbourne, Australia: Inkata Press).
- Richards, R. P., et al. 1996. "Well water quality, well vulnerability, and agricultural contamination in the Midwestern United States." *J. Environ. Quality*, 25:389-402.
- Robert, P. C., R. H. Rust, and W. E. Larson (eds.). 1996. *Precision Agriculture*. Proceedings of the Third International Conference on Precision Agriculture, (Madison, Wis.: Amer. Soc. Agron.).
- Robinson, C. A., M. Ghaffarzadeh, and R. M. Cruze. 1996. "Vegetative filter strip effects on sediment concentration in cropland runoff," *J. Soil and Water Conserv.*, 50:227-230.
- Sanchez, P. A., et al. 1997. "Soil fertility replenishment in Africa: An investment in natural resource capital," in R.J. Buresh, P. A. Sanchez, and F. Calhoun (eds.), *Replenishing Soil Fertility in Africa*. ASA/SSSA Publication. (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.).
- Sims, J. T., and D. C. Wolf. 1994. "Poultry waste management: Agricultural and environmental issues," *Advances in Agronomy*, 52:1-83.
- Smaling, E. M. A., S. M. Nwanda, and B. H. Jensen. 1997. "Soil fertility in Africa is at stake," in R. J. Buresh, P. A. Sanchez, and F. Calhoun (eds.), *Replenishing Soil Fertility in Africa*. ASA/SSSA Publication. (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.).
- Stickler, F. C., et al. 1975. *Energy from Sun to Plant to Man*. (Moline, Ill.: John Deere and Company).
- Stivers, L. J., C. Shennen, L. E. Jackson, K. Groody, C. J. Griffin, and P. R. Miller. 1993. "Winter cover cropping in vegetable production systems in California," in M. G. Paoletti, W. Foissner, and D. Coleman (eds.), *Soil Biota, Nutrient Cycling and Farming Systems*. (Boca Raton, Fla.: Lewis Publishers).
- Sutton, A. L. 1994. "Proper animal manure utilization," in *Nutrient Management*, supplement to *J. Soil Water Conserv.*, 49(2), pp. 65-70.
- Teng, Y., and V. R. Timmer. 1994. "Nitrogen and phosphorus in an intensely managed nursery soil-plant system," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 58:232-238.
- Terry, D. L., and P. Z. Yu. 1996. *Commercial Fertilizers*. A cooperative project of the Association of American Plant Food Control Officials Inc. (AAPFCO) and The Fertilizer Institute. (Lexington, Ky.: AAPFCO).
- Thomas, M. L., R. Lal, T. Logan, and N. R. Fausey. 1992. "Land use and management effects on non-point loading from Miamian soil," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 56:1871-1875.

- Tisdale, S. L., W. L. Nelson, J. D. Beaton, and J. L. Havlin. 1993. *Soil Fertility and Fertilizers*, 5th ed. (New York: Macmillan).
- USDA. 1980. *Appraisal, 1980 Soil and Water Resources Conservation Act, Review Draft, Part I*. (Washington, D.C.: USDA).
- USDA Natural Resources Conservation Service. 1991. *Water Quality Indicator Guide: Surface Waters*. Report no. SCS-TP-161. (Washington, D.C.: USDA).
- Walworth, J. L., and M. E. Sumner. 1987. "The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS)," *Advances in Soil Science*, 6:149-187.
- Westerman, R. L. (ed.). 1990. *Soil Testing and Plant Analysis*, 3d ed. (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.).
- Wilkinson, D. M., and N. M. Dickinson. 1995. "Metal resistance in trees: The role of mycorrhizae," *Oikos*, 72:298-299.
- Zublena, J. P., J. C. Barker, and T. A. Carter. 1993. "Poultry manure as a fertilizer source," *Soil facts* (Raleigh, N.C.: North Carolina Cooperative Extension Service, North Carolina State University).

فصل هفدهم: فرسایش خاک و مهار آن

- Blevins, R. L., and W. W. Frye. 1992. "Conservation tillage: An ecological approach to soil management," *Advances in Agronomy*, 51:33-78.
- Carter, M. R. 1994. *Conservation Tillage in Temperate Agroecosystems*. (Boca Raton, Fla.: Lewis Publishers).
- Cassel, D. K., and R. Lal. 1992. "Soil physical properties of the tropics: Common beliefs and management constraints," in R. Lal and P. A. Sanchez (eds.), *Myths and Science of Soils of the Tropics*. SSA Special Publication no. 29. (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. of Amer.), pp. 61-89.
- Crovetto, C. 1996. *Stubble Over the Soil*. (Madison, Wis.: Amer. Soc. Agron.).
- Dally, G. 1997. "Restoring value to the world's degraded lands," *Science*, 269:350-354.
- Dickey, E. C., et al. 1987. "Conservation tillage: Perceived and actual use," *J. Soil Water Cons.*, 42:431-434.
- Doolette, J. B., and J. W. Smyle. 1990. "Soil and moisture conservation technologies: Review of literature," in J. B. Doolette and W. B. Magrath (eds.), *Watershed Development in Asia: Strategies and Technologies*. (Washington, D.C.: World Book Technical Paper 127).
- EI-Swaify, and E. W. Dangler. 1982. "Rainfall erosion in the tropics: A state-of-the-art," *Soil Erosion and Conservation in the Tropics*. ASA Special Publication no. 43. (Madison, Wis.: Amer. Soc. Agron.).
- FAO. 1987. *Protect and Produce*. (Rome: U.N. Food and Agriculture Organization).
- Follet, R. F., and B. F. Stewart (eds.). 1985. *Soil Erosion and Crop Productivity*. (Madison, Wis.: Amer. Soc. Agron.).
- Foster, G. R., D. K. McCool, K. G. Renard, and W. C. Moldenhauer. 1981. "Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units," *J. Soil Water Cons.*, 36:355-359.
- Foster, G. R., and R. E. Highfill. 1983. "Effect of terraces on soil loss: USLE P factor values for terraces," *J. Soil Water Cons.*, 38:48-51.
- Fryrear, D. W., and A. Saleh. 1993. "Field wind erosion: Vertical distribution," *Soil Sci.*, 155:294-300.
- Fryrear, D. W. 1998. "RWEQ: Improved wind erosion technology," *J. Soil Water Cons.*, 53:(in press)
- Hillel, D. 1991. *Out of the Earth: Civilization and the Life of the Soil*. (New York: The Free Press).
- Hockensmith, R. D., and J. G. Steel. 1949. "Recent trends in the use of the land capability classification," *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 14:383-388.
- Hudson, N. 1995. *Soil Conservation*, 3rd ed. (Ames, Iowa: Iowa State University Press).
- Hughes, H. A. 1980. *Conservation Farming*. (Moline, Ill.: John Deere and Company).
- IUCN. 1986. *The IUCN Sahel Report*. (Gland, Switzerland: Intl. Union Cons. Nature).
- Krenisky, E. C., M. J. Carroll, R. L. Hill, and J. M. Krouse. 1998. "Runoff and sediment losses from natural and man-made erosion control materials," *Crop Sci.*, 38:1042-1046.
- Lafien, J. M., W. J. Elliot, D. C. Flanagan, C. R. Meyers, and M. A. Nearing. 1997. "WEPP—predicting water erosion using a process-based model," *J. Soil Water Cons.*, 52:96-102.
- Lal, R. 1995. "Erosion-crop productivity relationships for the soils of Africa," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 59:661-667.
- Larson, W. E., F. J. Pierce, and R. H. Dowdy. 1983. "The threat of soil erosion to longterm crop productivity," *Science*, 219:458-465.
- Lattanzi, A. R., L. D. Meyer, and M. F. Baumgardner. 1979. "Influence of mulch rate and slope steepness in interrill erosion," *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 38:946-950.

- Mahboubi, A. A., R. Lal, and N. R. Faussey. 1993. "Twenty-eight years of tillage effects on two soils in Ohio," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 57:506-512.
- Nyland, R. D. 1996. *Silviculture: Concepts and Applications*. (New York: McGraw-Hill).
- Oldeman, L. R. 1994. "The global extent of soil degradation," in D. J. Greenland, and I. Szabolcs (eds.), *Soil Resilience and Sustainable Land Use*. (Wallingford, U.K.: CAB International).
- Oschwald, W. R., and J. C. Siemens. 1976. "Conservation tillage: A perspective," *Agronomy Facts SM-30*. (Urbana, Ill.: University of Illinois).
- Pierre, C. J. M. G. 1992. *Fertility of Soils: A Future for Farming in the West African Savannah*. (Berlin: Springer-Verlag).
- Pimental, D., C. Harvey, P. Resosudarmo, K. Sinclair, D. Kurz, M. McNair, S. Crist, L. Shpritz, L. Fritton, R. Saffouri, and R. Blair. 1995. "Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits," *Science*, 267:1117-1122.
- Renard, K. G., G. Foster, D. yoder, and D. McCool. 1994. "RUSLE revisted: Status, questions, answers and the future," *J. Soil Water Cons.*, 49:213-220.
- Renard, K. G., G. Foster, G. Weesies, D. McCool, and D. yoder. 1997. *Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. Agricultural Handbook no 703. (Washington, D.C.: USDA).
- Rosensweig, C., and D. Hillel. 1998. *Climate Change and the Global Harvest: Potential impacts of the Greenhouse Effect on Agriculture*. (Gary, N.C.: Oxford University Press).
- Schwab, G. O., D. D. Fangmeirer, and W. J. Elliot. 1996. *Soil and Water Management Systems*, 4th ed. (New York: Wiley).
- Schertz, D. L. 1983. "The basis for soil loss tolerance," *J. Soil Water Cons.*, 30:10-14.
- Skidmore, E. L., and F. H. Siddoway. 1978. "Crop residue requirements to control wind erosion," In W. R. Oschwalk (ed.), *Crop Residue Management Systems*. ASA Special Publication no. 31. (Madison, Wis.: Amer. Soc. Agron.; Crop Sci. Soc. Amer.; and Soil Sci. Soc. Amer.).
- Skidmore, E. L., and N. P. Woodruff. 1968. *Wind Erosion Forces in the United States and Their Use in Predicting Soil Loss*. Agricultural Handbook no. 346. (Washington, D.C.: USDA).
- USDA. 1994. *Summary Report: 1992 National Resources Inventory*. (Washington, D.C.: USDA Natural Resources Conservation Service).
- Van Doren, D. M., Jr., G. B. Tripett, Jr., and J. E. Henry. 1976. "Influence of long-term tillage, crop rotation and soil type combinations on corn yields," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 40:100-105.
- Weesies, G. A., S. J. Livingston, W. D. Hosteter, and D. L. Schertz. 1994. "Effect of soil erosion on crop yield in Indiana: Results of a 10 year study," *J. Soil Water Cons.*, 49:597-600.
- Wischmeier, W. J., and D. D. Smith. 1978. *Predicting Rainfall Erosion Loss—A Guide to Conservation Planning*. Agricultural Handbook no. 537. (Washington, D.C.: USDA).

فصل هجدهم: خاک‌ها و آلودگی شیمیایی

- Alexander, M. 1994. *Biodegradation and Bioremediation*. (San Diego: Academic Press).
- Bagchi, A. 1994. *Design, Construction and Monitoring of Landfills*, 2d ed. (New York: Wiley).
- Beyer, W. N., R. L. Chancy, and B. M. Mulhern. 1982. "Heavy metal concentration in earthworms from soil amended with sewage sludge," *J. Environ. Qual.*, 11:381-385.
- Boyle, M. 1988. "Radon testing of soils," *Environ. Sci. Tech.*, 22:1397-1399.
- Bragg, J. R., R. C. Prince, E. J. Harner, and R. M. Atlas. 1994. "Effectiveness of bioremediation for the Exxon Valdez oil spill," *Nature*, 368:413-418.
- Chaney, R. L. 1990. "Public health and sludge utilization," Part II, *Biocycle*, 31(10):68-73.
- Chang, A. C., A. L. Page, J. E. Warneke, and E. Grgurevic. 1984. "Sequential extraction of soil heavy metals following a sludge application," *J. Environ. Qual.*, 13:33-38.
- Cheng, H. H. (ed.). 1990. *Pesticides in the Soil Environment: Processes, Impacts, and Modeling*. (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.).
- Cunningham, S. D., T. A. Anderson, A. P. Schwab, and E. C. Hsu. 1996. "Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants," *Advances in Agronomy*, 56:55-114.
- Cureton, P. M., P. H. Groenevelt, and R. A. McBride. 1991. "Landfill leachate recirculation: Effects on vegetation vigor and clay surface cover infiltration," *J. Environ. Qual.*, 20:17-24.
- DML. 1981. *Farming in the Profit Zone Through Plant Nutrition and Conservation Tillage*. (Goodfield, Ill.: DMC Inc.).
- Dowdy, R. H., C. E. Clapp, D. R. Linden, W. E. Larson, T. R. Halbach, and R. C. Polta. 1994. "Twenty years of trace metal partitioning on the Rosemount sewage sludge watershed," in C. E.

- Clapp, W. E. Larson, and R. H. Dowdy (eds.), *Sewage Sludge: Land Utilization and the Environment*. (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.), pp. 149-155.
- Edwards, C. A. 1978. "Pesticides and the micro-fauna of soil and water," in I. R. Hill and S. J. Wright (eds.), *Pesticide Microbiology*. (London: Academic Press), pp. 603-622.
- Elliott, H. A., M. R. Liberati, and C. P. Huang. 1986. "Competitive adsorption of heavy metals in soils," *J. Environ. Qual.*, 15:214-219.
- Furr, A. K., A. W. Lawrence, S. S. C. Tong, M. C. Grandolfo, R. A. Hofstadter, C. A. Bache, W. H. Gutemann, and D.J. Lisk. 1976. "Multielement and chlorinated hydrocarbon analysis of municipal sewage sludges of American cities," *Environ. Sci. Tech.*, 10:683-687.
- Gaynor, J. D., D. C. MacTavish, and W. I. Findlay. 1995. "Atrazine and metolachlor loss in surface and subsurface runoff from three tillage treatments in corn," *J. Environ. Qual.*, 24:246-256.
- General Accounting Office. 1991. *Pesticides—EPA Could Do More to Minimize Groundwater Contamination*. GAO/RCED-91-75. (Washington, D.C.: U.S. General Accounting Office).
- Hazen, Terry C. 1995. "Savannah river site—a test bed for cleanup technologies," *Environ. Protection*, April, pp. 10-16.
- Holmgren, G. G. S., M. W. Meyer, R. L. Chancy, and R. B. Daniels. 1993. "Cadmium, lead, zinc, copper, and nickel in agricultural soils of the United States of America," *J. Environ. Qual.*, 22:335-348.
- Jaynes, W. F., and S. A. Boyd. 1991. "Clay mineral type and organic compound sorption by hexadecyltrimethylammonium-exchanged clays," *Soil. Sci. Soc. Amer. J.*, 55:43-48.
- Kabata-Pendias, A., and H. Pendias. 1992. *Trace Elements in Soils and Plants*. (Boca Raton, Fla.: CRC Press).
- Kellogg, R. L., M. S. Maizel, and D. W. Goss. 1994. "The potential for leaching of agrichemicals used in crop production: A national perspective," *J. Soil Water Cons.*, 49:294-298.
- Kreuger, R. F., and J. N. Seiber (eds.). 1984. *Treatment and Disposal of Pesticide Wastes*. (Washington, D.C.: Amer. Chem. Soc.).
- Losi, M. E., C. Amrhein, and W. T. Frankenberger, Jr. 1994. "Bioremediation of chromatecontaminated groundwater by reduction and precipitation In surface soils," *J. Environ. Qual.*, 23:1141-1150.
- Maymo-Gatell, X., Y. T. Chein, J. M. Gessett, and S. H. Zinder. 1997. "Isolation of a bacterium that reductively dechlorinates tetrachloroethene to ethene," *Science*, 276:1568-1571.
- McConnell, J. S., and L. R. Hossner. 1985. "pH-dependent adsorption isotherm of glyphosate," *J. Agric. Food Chem.*, 33:1075-1078.
- Meriwether, J. R., J. N. Beck, D. F. Keeley, M. P. Langley, R. N. Thompson, and J. C. Young, 1988. "Radionuclides in Louisiana soils," *J. Environ. Qual.*, 17:562-568.
- Moore, J. W., and S. Ramamoorthy, 1984. *Heavy Metals in Natural Waters*. (New York: Springer-Verlag).
- Pierzynski, G. M., J. T. Sims, and G. F. Vance. 1994. *Soils and Environmental Quality*. (Boca Raton, Fla.: CRC Press/Lewis Publishers).
- Pimental, D., H. Acquay, M. Biltonen, P. Rice, M. Silva, J. Nelson, V. Lipner, S. Giordano, A. Horowitz, and M. D'Amore. 1992. "Environmental and economic costs of pesticide use," *Bioscience*, 42:750-760.
- Pritchard, P. H., J. G. Mueller, J. C. Rogers, F. V. Kremer, and J. A. Glaser. 1992. "Oil spill bioremediation: Experiences, lessons and results from the Exxon Valdez oil spill in Alaska," *Biodegradation*, 3:315-335.
- Richards, R. P., et al. 1996. "Well water quality, well vulnerability and agricultural contamination in the midwestern United States," *J. Environ. Qual.*, 25:389-402.
- Sawhney, B. L., and K. Brown (eds.). 1989. "Reactions and movement of organic chemicals in soils," (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.).
- Shipitalo, M. J., W. M. Edwards, and L. B. Owens. 1997. "Herbicide losses in runoff from conservation-tilled watersheds in a corn-soybean rotation," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 61:267-272.
- Skipper, H. D. and R. F. Turco. 1995. *Bioremediation: Science and Applications*, Special Publication no. 43. (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.).
- Sommers, L. E. 1977. "Chemical composition of sewage sludges and analysis of their potential use as fertilizer," *J. Environ. Qual.*, 6:225-232.
- Strek, H. J., and J. B. Weber. 1982. "Adsorption and reduction in bioactivity of polychlorinated biphenyl (Aroclor 1254) to redroot pigweed by soil organic matter and montmorillonite clay," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 46:318-322.

- Thompson, A. R., and C. A. Edwards. 1974. "Effects of pesticides on nontarget invertebrates In freshwater and soil," in W. D. Guenzi (ed.), *Pesticides in Soil and Water*. (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.), pp. 341-386.
- U.S. EPA. 1993. Clean Water Act, sec. 503, vol. 58, no. 32. (Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency).
- U.S. EPA. 1997. Characterization of Municipal Solid Waste in the United States: 1996 Update. EPA 530-R-97-015. (Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency).
- Weber, J. B., and C. T. Miller. 1989. "Organic chemical movement over and through soil," in B. L. Sawhney and K. Prown (eds.), *Reactions and Movement of Organic Chemicals in Soils*. SSSA Special Publication no. 22. (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.).
- Xu, S., G. Sheng, and S. A. Boyd. 1997. "Use of organoclays in pollution abatement." *Advances in Agronomy*, 59:25-62.

فصل نوزدهم: اطلاعات جغرافیایی خاک‌ها

- Cline, M. G., and R. L. Marshall. 1977. "Soils of New York Landscapes," *Inf. Bull.* 119, Physical Sciences, Agronomy 6, New York State College of Agriculture and Life Sciences, Cornell University.
- Doolittle, J. A. 1987. "Using ground-penetrating radar to increase the quality and efficiency of soil surveys" in W. U. Reybold and G. W. Peterson (eds.), *Soil Survey Techniques*, SSSA Special Publication no. 20 (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.).
- Doolittle, J. A., K. A. Sudduth, N. R. Kitchen, and S. J. Indorante. 1994. "Estimating depths to claypans using electromagnetic induction methods," *J. Soil Water Cons.*, 49:572-575.
- FAO. 1977. *Guidelines for Soil Profile Description*, 2d ed. (Rome: Land and Water Development Div. U.N. Food and Agriculture Organization).
- Gronlund, A. G., W. N. Xiang, and J. Sox. 1994. "GIS, expert systems technologies improved forest fire management techniques," *GIS World*, 7(2):32-36.
- Herring, T. A. 1996. "The global positioning system," *Scientific American* 270(2):44-50.
- Indorante, S. J., R. L. McLeese, R. D. Hammer, B. W. Thompson, and D. L. Alexander. 1996. "Positioning soil survey for the 21st century," *J. Soil Water Cons.*, 51:21-28.
- Lillesand, T. M., and R. W. Kiefer. 1994. *Remote Sensing and Image interpretation*, 3d ed. (New York: Wiley).
- Smith, H., and E. Matthews. 1975. *Soil Survey of Harford County Area, Maryland*. (Washington, D.C.: U.S. Soil Conservation Service).
- Soil Survey Staff, 1993a. *National Soil Survey Handbook*. Title 430 VI. (Washington, D.C.: USDA).
- Soil Survey Staff, 1993b. *Soil Survey Manual*. Handbook no. 18. (Washington, D.C.: USDA).
- Star, J., and J. Estes. 1990. *Geographic Information Systems: An Introduction*. (Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall).
- Stoner, E. R., and M. F. Baumgardner. 1981. "Characteristic variations in reflectance of surface soils," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 45:1161-1165.
- Wilding, L. P. 1985. "Spatial variability: Its documentation, accommodation and implication to soil surveys," in D. R. Nielsen and J. Bouma (eds.), *Soil Spatial Variability*. (Pudoc, Wageningen, The Netherlands), pp. 166-194.
- Wollenhaupt, N. C., R. P. Wolkowski, and M. K. Clayton. 1994. "Mapping soil test phosphorus and potassium for variable rate fertilizer application," *J. Prod. Agric.*, 7:441-448.
- Zwicker, S. E. 1992. *Soil Survey of Bureau County, Illinois*. (Washington, D.C.: USDA Natural Resources Conservation Service).

فصل بیستم: کیفیت خاک در مقیاس جهانی تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی

- Bumb, B. L., and C. A. Baanante. 1996. *The Role of Fertilizer in Sustaining Food Security and Protecting the Environment to 2020*. Food, Agriculture and the Environment Discussion Paper 17. (Washington D.C.: Int. Food Policy Res. Inst.).
- Buresh, R. J., and P. A. Sanchez (eds.). 1997. *Replenishing Soil Fertility in Africa*. SSSA Special Publication no. 51. (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.).
- CGIAR. 1997. "How efficient are modern cereal cultivars?" *CGIAR News*, 4(2):3. April 1997.

- Cassman, K. G., S. Peng, D. C. Olk, W. Reicharat, A. Doberman, and U. Singh. 1997. "Opportunities for increased nitrogen use efficiency from improved resource management in irrigated rice systems," *Field Crop Res.*, in press.
- CIMMYT. 1995. CIMMYT 1994 Annual Report. (Mexico City, Mexico: International Maize and Wheat Improvement Center).
- Doran, J. W., and A. J. Jones (eds.). 1996. *Methods for Assessing Soil Quality*. SSSA Special Publication no. 49, (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.).
- Doran, J. W., A. Sarrantonio, and M. A. Liebig. 1996. "Soil health and sustainability," *Advances in Agronomy*, 56:1-54.
- Eswaran, H., R. Almaraz, P. Reich, and P. Zdruli. 1997a. "Soil quality and soil productivity in Africa," *J. Sust. Ag.*, 10:75-94.
- Eswaran H., R. Almaraz, E. vanden Berg, and P. Reich. 1997b. "An assessment of the soil resources of Africa in relation to productivity," *Geoderma*, 77:1-18.
- FAO. 1987. *Agriculture: Toward 2000*. (Rome: U.N. Food and Agriculture Organization).
- Harris, R. F., D. L. Karlen, and D. J. Mulla. 1996. "A conceptual framework for assessment and management of soil quality and health," in J. W. Doran and H. J. Jones (eds.), *Methods for Assessing Soil Quality*. SSSA Special Publication no. 49. (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.).
- ICRISAT. 1997. ICRISAT Report 1996. (Patancheru, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics).
- Kang, B. T., G. F. Wilson, and T. L. Lawson. 1984. *Alley Cropping: A Stable Alternative to Shifting Cultivation*, (Ibadan, Nigeria: Int. Inst. Of Tropical Agric.).
- Karlen, D. L., and D. E. Stott. 1994. "A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality," in J. W. Doran, et al. (eds.), *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*, SSSA Special Publication no. 35, (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.).
- Kwesiga, F. R., S. Franzel, F. Place, D. Phiri, and C. P. Simwanza. 1997. "Sesbania improved fallows in Eastern Zambia: Their inception, development and farmer enthusiasm," in R. J. Buresh and P. J. Cooper (eds.), *The Science and Practice of Short Term improved Fallows*. (Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers).
- Lal, R. 1989. "Agroforestry systems and soil surface management of a tropical Alfisol: II: Water runoff, erosion and nutrient loss," *Agroforestry Systems*, 8:97-111.
- Mekonnen, K., R. S. Buresh, and B. Jama. 1997. "Root and inorganic nitrogen distributions in Sesbania fallow, natural fallow and maize fields," *Plant and Soil* 188:319-327.
- Oldeman, L. R., R. T. A. Hakkeling, and W. G. Sombroek. 1990. *World Map of the Status of Human-Induced Soil Degradation: An Explanatory Note*. (Wageningen, Netherlands: ISRIC; Kenya: UNEP).
- Pinstrup-Andersen, Rajul Pandya-Lorch, and M.W. Rosegrant. 1997. *The World Food Situation: Recent Developments, Emerging Issues and Long-Term Prospects*. Paper for the Consultative Group on International Research, Oct. 27, 1997. (Washington, D.C.: Int. Food Policy Res. Inst.).
- Sanchez, P. A., and T. J. Logan. 1992. "Myths and science about the chemistry and fertility of soils of the tropics," in P. A. Sanchez and R. Lal (eds.), *Myths and Science of Soils of the Tropics*. SSSA Special Publication no. 29 (Madison Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.), pp. 35-46.
- Stoorvogel, J. J., and E. M. A. Smaling. 1990. "Assessment of soil nutrient depletion in SubSaharan Africa: 1983-2000." Report no. 28. (Wageningen, Netherlands: Winand Staring Centre for Integrated Land, Soil and Water Research).
- Stoorvogel, J. J., E. M. A. Smaling, and B. H. Janssen. 1993. "Calculating soil nutrient balances in Africa at different scales," *Fertilizer Research*, 35:277-235.
- UNFPA. 1992. *The State of the World Population*. (New York: U.N. Population Fund).
- USDA. 1997. *Alley Cropping Conservation Practice*. Job Sheet 311. (Washington, D.C.: USDA Natural Resources Conservation Service).
- Wadsworth, G. R., R. J. Southard, and M. J. Singer. 1988. "Effects of fallow length on organic carbon and soil fabric of some tropical Udults," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 52:1424-30.

ضمایم

ضمیمه الف : رده‌بندی خاک آمریکا. نقشه‌ی و علائم زیر رده‌ها

مطالعات خاک‌شناسی در اکثر کشورهای قاره‌ی آمریکا انجام شده است. کارشناسان مطالعات خاک‌شناسی سازمان حفاظت منابع طبیعی آمریکا در همکاری با دانشمندان سایر کشورها از اطلاعات موجود در این مطالعات برای تهیه‌ی نقشه‌ی عمومی خاک‌ها بر اساس رده‌بندی خاک استفاده کرده‌اند. مناطقی که رده و یا زیررده‌ی خاصی در آن غالب می‌باشند با استفاده از علائم نقشه‌ی ترسیم شده است (A3a و D1s و ...). رده‌ها و یا زیررده‌ها که این علائم مربوط به آنها می‌باشند. در صفحه‌ی پشت نشان داده شده است. باید به خاطر داشت درحالی‌که واحدهای نقشه‌ی بیاگر مناطقی هستند که شامل رده‌ها و یا زیررده‌های غالب می‌باشند، هر واحد نیز احتمالاً شامل خاک‌های دیگری است که از آنچه در علائم نقشه آمده است متفاوت می‌باشد.

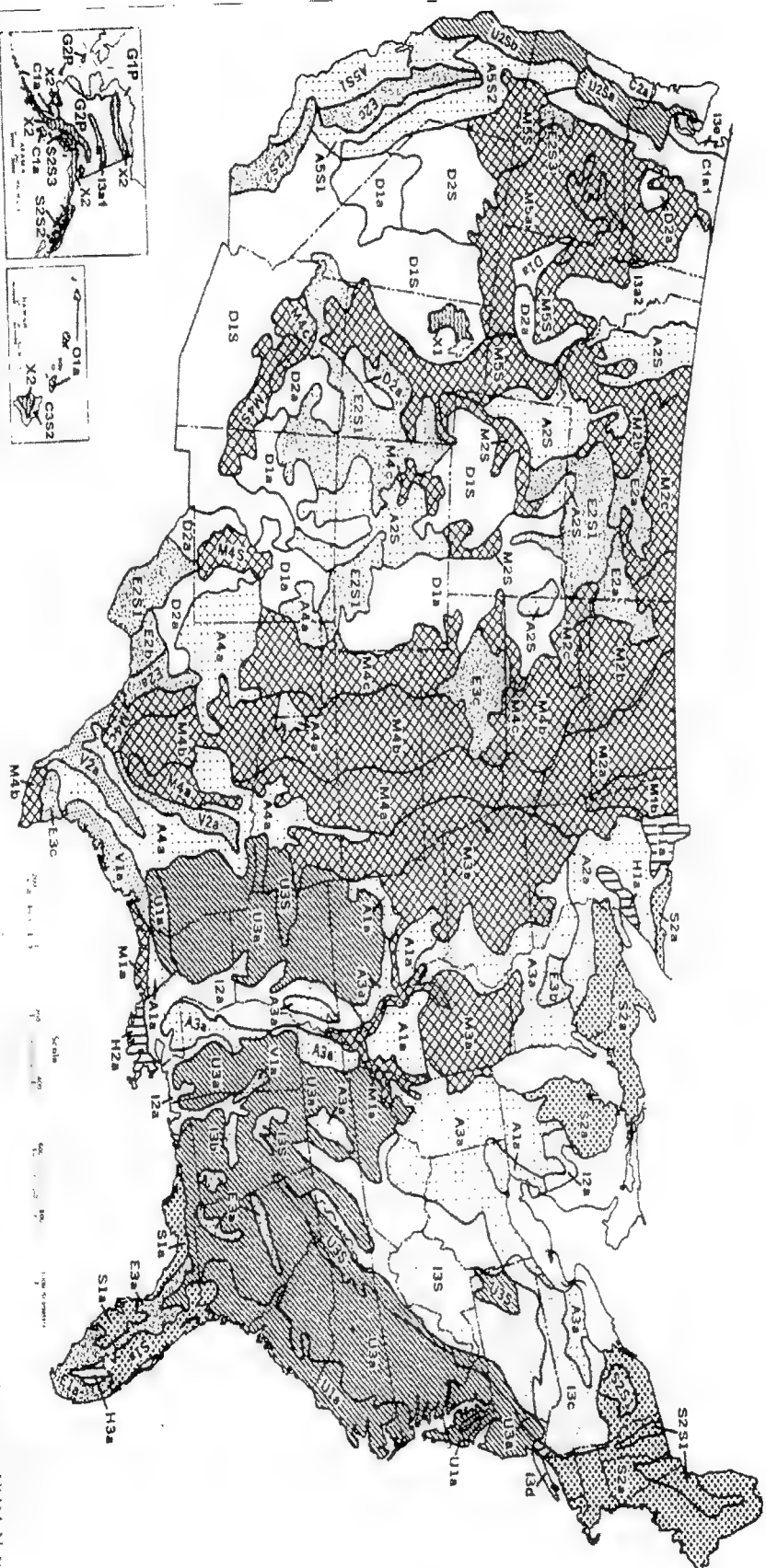


FIGURE A-1 General soil map of the United States showing patterns of soil orders and suborders based on Soil Taxonomy. Explanations of symbols follow. (Courtesy USDA Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, 1998).

ALFISOLS

Aqualfs

A1a Aqualfs with Udalfs, Aquepts, Udolls; Aqualfs; gently sloping.

Cryalfs

A2S Cryalfs with Cryolls, Cryepts, Haplocryolls, and Rock outcrops; steep.

Udalfs

A2a Udalfs with Udipsamments and Histosols; gently and moderately sloping.

A3a Udalfs with Aqualfs, Aquolls, Rendolls, Udolls, and Udulfs; gently or moderately sloping.

Ustalfs

A4a Ustalfs with Ustepts, Ustolls, Usterts, Ustipsamments, and Ustorthents; gently or moderately sloping.

Xeralfs

A5S1 Xeralfs with Xerolls, Xerorthents, and Xererts; moderately sloping to steep.
A5S2 Ulic and lithic subgroups of Haploxeralfs with Xerands, Xerulfs, Xerolls, and Xereps; steep.

ANDISOLS

Cryands

C1a Cryands, Cryaquepts, Cryaquands, Histosols, and Rock outcrop; gently or moderately sloping.

C1S1 Cryands with Cryepts and Cryods; steep.

Udands

C2a Udands with Udepts, Spodosols, and Aquepts.

Ustands

C3S2 Ustands with Utepts, Ustolls, Udands, and Polists; moderately sloping to steep.

ARIDISOLS

Argids

D1a Argids with Cambids, Calcids, Orthents, Psamments, and Ustolls; gently and moderately sloping.

D1S Argids with Cambids, gently sloping; and Torriorthents, gently sloping to steep.

Cambids

D2a Cambids with Argids, Orthents, Psamments, and Xerolls; gently or moderately sloping.

D2S Cambids, gently sloping to steep, with Argids, gently sloping; lithic subgroups of Torriorthents and Xerorthents, both steep.

ENTISOLS

Aquepts

E1a Aquepts with Quartzipsamments, Aquepts, Aquolls, and Aquods; gently sloping.

Orthents

E2a Torriorthents, steep, with xeric and ustic subgroups of Aridisols; Usterts and aridic and vertic subgroups of Ustolls;

E2b Torriorthents with Torrets; gently or moderately sloping.

E2c Xerorthents with Xeralfs, Cambids, and Argids; gently sloping.

E2S1 Torriorthents; steep, and Argids, Torrifluvents, and Ustolls; gently sloping.

E2S2 Xerorthents with Xeralfs and Xerolls; steep.

E2S3 Cryorthents with Cryopsamments and Cryands; gently sloping to steep.

Psamments

E3a Quartzipsamments with Aquolls and Udulfs; gently or moderately sloping.

E3b Udipsamments with Aquolls and Udalfs; gently or moderately sloping.

E3c Ustipsamments with Ustalfs and Aquolls; gently or moderately sloping.

GELISOLS

G1P Gelisols; gently sloping to steep.

G2P Gelisols with Cryorthents, Cryepts, and cryic great groups of Histosols; gently sloping to steep.

HISTOSOLS

H1a Haplohemists with Psammaquents and Udipsamments; gently sloping.

H2a Haplohemists and Haplosprists with Fluvaquents, Hydraquents and Aqueps; gently sloping.

H3a Haplofibrists, Haplohemists, and Haplosprists with Psammaquents; gently sloping.

INCEPTISOLS

Aquepts

I2a Epi and endo great groups of Aquepts with Aqualfs, Aquepts, Aquolls, Udalfs, and Fluvaquents; gently sloping.

Cryepts

I3a1 Cryepts with Cryaquepts, Histosols, and Cryods; gently or moderately sloping.

I3a2 Cryepts, Cryands with Xerepts, Xerolls, and Cryods; moderately sloping to steep.

Udepts

I3b Entrudepts with Uders; gently sloping.

I3c Fragdepts with Fragaquepts, gently or moderately sloping; and Dystrodepts, steep.

I3d Dystrodepts with Udipsamments and Haploorthods; gently sloping.

I3S Dystrodepts, steep, with Udalfs and Udulfs; gently or moderately sloping.

Xerepts

I3e Xerepts, Xerands with Aquepts and Orthods; gently or moderately sloping.

MOLLISOLS

Aquolls

M1a Aquolls with Udalfs, Fluvents, Udipsamments, Aquepts, and Entrudepts; gently sloping.

M1b Aquolls and Aquepts with Udolls and Udipsamments; gently sloping.

Udolls

M2a Udolls with Aquolls and Udorthents; gently sloping.

M3a Udolls with Aquolls, Udalfs, Aqualfs, Fluvents, Udipsamments, Udorthents, Aquepts, and Albolls; gently or moderately sloping.

Ustolls

M2b Ustolls with Ustalfs and Ustipsamments, Ustorthents, and Cryalfs; gently sloping.

M2c Aridic subgroups of Ustolls and Ustic subgroups of Argids, Cambids, and Torriorthents; gently sloping.

M2S Ustolls with Ustalfs, Argids, Torriorthents, and Ustolls; moderately sloping or steep.

M3a Udic subgroups of Ustolls with Ustorthents, Ustepts, Usterts, Aquepts, Fluvents, and Udolls; gently or moderately sloping.

M4b Ustic subgroups of Ustolls with Ustalfs, Udipsamments, Ustorthents, Ustepts, Aquolls, and Usterts; gently or moderately sloping.

M4c Aridic subgroups of Ustolls with Ustalfs, Cambids, Ustipsamments, Ustorthents, Ustepts, Torriorthents, and Usterts; gently or moderately sloping.
M4S Ustolls with Argids and Torriorthents; moderately sloping or steep.

Xerolls

M5a Xerolls with Argids, Cambids, Fluvents, Cryalfs, Cryolls, and Xerorthents; gently or moderately sloping.

M5S Xerolls with Cryalfs, Xeralfs, Xerorthents, and Xererts; moderately sloping or steep.

OXISOLS

O1a Ustox with Dystrostepts, Ustolls, Andisols, Udox, and Torrox; gently to steeply sloping.

SPODOSOLS

Aquods

S1a Aquods with Psammaquents, Aquolls, Alorthods, and Aqualls; gently sloping.

Orthods

S2a Orthods with Udalfs, Aquepts, Udorthents, Udipsamments, Histosols, Aqueps, Fragaquepts, and Dystrodepts; gently or moderately sloping.

S2S1 Orthods and Cryods with Histosols, Aquepts, and Aqueps; moderately sloping or steep.

Cryods

S2S2 Cryods with Histosols; moderately sloping or steep.

S2S3 Cryods with Cryic great groups of Histosols, Cryands and Cryaquepts; gently sloping to steep.

ULTISOLS

Aquults

U1a Aquults with Aquepts, Histosols, Quartzipsamments, and Udulfs; gently sloping.

Humults

U2Sa Humults and Xeralfs with Xerolls, Aquepts and Xerulfs; gently sloping to moderately sloping.

U2Sb Humults, Xeralfs, and Xerulfs with Xerolls and Rock outcrop; gently sloping to steep.

Udulfs

U3a Udulfs with Udalfs, Fluvents, Aquepts, Quartzipsamments, Aquoeps, Dystrodepts, and Aquults; gently or moderately sloping.

U3S Udulfs with Dystrodepts; moderately sloping or steep.

VERTISOLS

Uderts

V1a Uderts with Aqualfs, Aquepts, Entrudepts, Aquolls, and Ustolls; gently sloping.

Usterts

V2a Usterts with Aqualfs, Cambids, Aquepts, Fluvents, Aquolls, Ustolls, and Torrets; gently sloping.

Miscellaneous Areas (with little soil)

X1 Salt flats and Playas.

X2 Rock outcrop (plus permanent snow fields, glaciers, and lava flows).

Slope Classes

Gently sloping—Slopes mainly less than 10%, including nearly level.

Moderately sloping—Slopes mainly between 10 and 25%.

Steep—Slopes mainly steeper than 25%.

ضمیمه ب : نظام‌های طبقه‌بندی خاک کانادا و FAO

نظام طبقه‌بندی خاک کانادا یکی از نظام‌های متعدد طبقه‌بندی خاک در کشورهای مختلف سرتاسر جهان است که شاید در ارتباط نزدیک‌تر با طبقه‌بندی آمریکایی باشد. شامل دسته‌بندی سلسله مراتب راسته ، گروه بزرگ ، زیرگروه ، خانواده و سری می‌باشد. نظام اصولاً برای کاربرد در خاک‌های کانادا طراحی شده است. راسته‌های خاک سیستم طبقه‌بندی خاک کانادا در جدول ۱-B تشریح شده است و راسته‌ها و بعضی گروه‌های بزرگ با رده‌بندی خاک آمریکایی در جدول ۲-B مقایسه شده است.

جدول ب ۱: خلاصه تشریح اجمالی رده‌های خاک در نظام طبقه‌بندی خاک کانادا

Brunisolic : خاک‌ها با تکامل کافی برای جداکردن آن‌ها از خاک‌های رده رگوسل اما فاقد میزان و نوع افق تکاملی خاص سایر رده‌ها می‌باشد.

Chernozemic : خاک‌ها با درصد اشباع بازی بالا و افق‌های سطحی که در اثر تراکم ماده آلی حاصل از تجزیه چمن‌زارها و یا جنگل تیره رنگ شده اند.

Cryosolic : خاک‌ها که از مواد آلی و یا معدنی تشکیل شده و دارای یخ‌بندان دایم در عمق یک متری از سطح و یا دو متری از سطح وقتی ۱/۳ خاگرخ دچار تغییرات ناشی از یخ‌بندان مانند افق‌های جدا شده مخلوط و یا شکسته شده باشد.

Gelysolic : خاک‌هایی که دارای دوره‌های اشباع طولانی (ماتلینگ و گلی) با آب و شرایط احیاء می‌باشند.

Luvisolic : خاک‌ها با افق کم‌رنگ آبشویی شده که دارای افق‌های B تمرکز مواد می‌باشند که در آن رس‌های سیلیکاتی تجمع یافته‌اند.

Organic : خاک‌های عالی که بر روی پیت و لاشبرگ خوب تجزیه شده و یا تجزیه نشده تکامل یافته است.

Podzolic : خاک‌ها با افق B که در آن تمرکز غالب با مواد بی‌شکل عمدتاً مرکب از مواد آلی هموسی شده همراه با مقادیر مختلف Fe , Al می‌باشد.

REGOSOLIC : خاک‌های ضعیف تکامل یافته که فاقد افق‌های ژنتیکی می‌باشند.

Solonetzic : خاک‌هایی که بر روی مواد مادری شور (اغلب غنی از سدیم) یافت شده و دارای افق B که در هنگام خشکی بسیار سخت و در هنگام خیسگی انبساط یافته به یک توده چسبده یا نفوذپذیری اندک تبدیل می‌شود، افق B خاک‌هایی قلیایی به طور شاخص دارای ساختمان درشت ستونی و یا منشوری بوده که به واحدهای ساختمانی مکعبی سخت و خیلی سخت با پوشش تیره شکسته می‌شوند.

Vertisolic : خاک‌ها با مقادیر زیاد رس‌های قابل انبساط که دارای ترک‌های بزرگی در فصل خشک سال و شواهد انبساط خاک مانند گیلگایی و یا سطوح براق می‌باشند.

جدول ب۲: مقایسه رده‌بندی خاک آمریکایی با طبقه‌بندی خاک کانادا

توجه داشته باشید به دلیل معیارهای مرزبندی بین دو نظام بعضی از راسته‌های رده‌بندی خاک آمریکا دارای بیشتر از یک راسته خاک معادل در نظام طبقه‌بندی کانادا می‌باشند.

نظام آمریکایی راسته خاک	نظام کانادایی راسته خاک	نظام کانادایی گروه بزرگ	رده‌های سطح پائین معادل در رده‌بندی آمریکا
Alfisols	Luvisolic	Gray Brown luvisols Gray Luvisols	Hapludalfs Haplocryalfs/Eutrocryalfs/Fragudalfs glossocryalfs Palecryalfs, ustalfs, udalfs و زیر گروه‌های
--	Solonetzic	Solonetz Solod	Natrudalfs/Natrustalfs Natraqualfs/ Natrudalfs, Natrustalfs Glossic و زیر گروه‌های
Andisols Aridisols Entisols	Cryosolic, Brunisolic Solonetzic Regosolic	-- -- Rgosol	Natrargids از Frigid خانواده‌های Aqnants باستانی Entisols و خانواده‌های فریجید Cryic گروه‌های بزرگ Psamments, Orthents, Fluents, Folists “ “ “ “
Gelisols	Cryosolic	Turbic Cryosol Organic Cryosol Stagnic Cryosol	Turbels Histels Orthels
Histosols	Organic	Fibrisol Mesisol Humisol	Cryofibrists, Sphgnofibrists Cryochemists Cryosaprists
Inceptisols	Brunisolic Gleysolic	Melanic Brunisol Eutric Brunisol Sombric Brunisol Dystric Brunisol	Eutrustepts بعضی از Haplustept..mesic, Frigid و فامیل‌های Crypts زیر گروه‌های Humic Dystrustepts, Ustepts, Udepts فامیل‌های فریجید و مزیک Dystrocryepts, Dystrustepts فامیل‌های فریجید Aquepts, Aguolls, Aqualfs; Frigid و فامیل‌های Cryic زیر گروه‌های Aquods, Aquepts
Oxisols	در کانادا وجود ندارد		
Spodosols	Podzolic	Humic podzol Ferro- Humic pedozol Humo- Ferric Podzol	Placohomods Hhumic Placocryods, Humicryods Humods و خانواده‌های Placorthods و فامیل‌های فریجید Placorthods بعضی از humic Haplocryods , Orthods سایر humic زیر گروه‌های Frigid و فامیل‌های Orthods فامیل‌های فریجید سایر Placorthods, Haplorthods, به استثنای زیر گروه‌های هومیک Cryods و
Ultisols	در کانادا وجود ندارد		
Vertisols	Vertisolic	Vertisol Humic	Haplocryerts Humicryerts

نظام طبقه‌بندی FAO :

یک راهنمای نقشه خاک‌های جهان است که توسط فائو و یونسکو تهیه شده است . تشریح اجمالی FAO نظام طبقه‌بندی آمده است. و واژه‌های نقشه فائو توسط بسیاری از محققین در سرتاسر جهان برای تشریح B واحد نقشه در جدول ۳-B خاک‌های مختلف بکار می‌رود. پایگاه‌های اطاعتی جهانی و منطقه‌ای خاک اغلب برحسب این سیستم تنظیم شده است، خصوصیات قابل تشخیص واژه‌های به کاررفته به مقدار زیادی از نظام طبقه‌بندی خاک روسی و همین‌طور آمریکایی به عاریه گرفته شده است.

جدول ب ۳: واحدهای نقشه خاک فائو - یونسکو در نقشه خاک جهان

Acrisols	خاک‌ها با باز پایین با افق ارچلیک
Andosols	خاک‌های تشکیل شده از خاکستر آتشفشانی که دارای سطح تیره می‌باشد.
Arenosols	خاک‌های تشکیل شده از شن
Combisols	خاک‌های با تغییرات اندک رنگ ، ساختمان و پایداری در اثر هوادیدگی .
Chernozems	خاک‌ها با سطح تیره و هموس بالا در زیر گیاهان علف‌زار
Cryosols	خاک‌های اقلیم سرد با یخبندان دایمی
Ferralsols	خاک‌های خیلی هوازده با رس‌های غنی از اکسیدها.
Fluvisols	خاک‌های ته‌نشین شده در آب با تغییرات اندک.
Gleysols	خاک‌ها با نقاط و یا افق‌های احیاء شده به خاطر خیس شدن.
Greyzems	خاک‌ها با سطح تیره و افق E آبشویی شده و افق B بافت متفاوت
Histosols	خاک‌های آلی
Kastanozems	خاک‌ها با رنگ بلوطی در سطح و با پوشش گیاهان استپی
Lithosols	خاک‌های کم عمق بر روی سنگ سخت
Luvisols	خاک‌ها با مواد بازی متوسط تا زیاد و افق ارچلیک
Nitisols	خاک‌ها دارای رس‌های با CEC کم در افق ارچلیک
Planosols	خاک‌ها مرز بسیار متمایز در افق‌های A و B
Phaeozems	خاک‌ها با سطح تیره و آبشویی بیشتر از Kastanozem و Chernozems
Podzols	خاک‌ها با افق روشن آبشویی شده و تراکم آهن ، آلومنیوم و هموس در تحت‌الارض
Podzoluvisols	خاک‌ها با افق آبشویی شده که به شکل زیانه در داخل افق ارچلیک نفوذ کرده است.
Rankers	خاک‌های کم عمق بر روی مواد سیلیسی
Regosols	خاک‌های کم عمق در روی مواد نامتراکم
Rendzinas	خاک‌های کم عمق بر روی سنگ آهک
Solonchaks	خاک‌ها با تجمع نمک‌های محلول
Solonetz	خاک‌ها با درصد سدیم زیاد
Vertisols	خاک‌های غنی از رس مونت‌موریلونیت که خاک‌رخ آن در حال زیر و رو شدن بوده و خود خاک‌پوش می‌باشند.
Xerosols	خاک‌های خشک مناطق نیمه خشک
Yermosols	خاک‌های بیابانی

ضمیمه ج : تبدیل واحدهای غیر SI به واحدهای SI^(۱)

واحدهای غیر SI	ضریب	واحدهای SI	واحدهای غیر SI	ضریب	واحدهای SI
عملکرد و سرعت			طول		
inch,in	۲/۵۴	سانتیمتر	cm(10 ⁻² m)	بوشل در ایکر (۶۰ پوند)	bu/ac
foot,ft	۰/۳۰۴	متر	meter,m	کیلوگرم در هکتار	kg/ha
mile,mi	۱/۶۰۹	کیلومتر	km(10 ³ m)	بوشل در ایکر (۵۶ پوند)	bu/ac
micron,μ	۱	میکرومتر	μm(10 ⁻⁶ m)	بوشل در ایکر (۴۸ پوند)	bu/ac
Angstrom, Å	۰/۱	نانومتر	nm(10 ⁻⁹ m)	گالن در ایکر (امریکایی)	gal/ac
سطح			تن در ایکر		
acre ,ac	۰/۴۰۵	هکتار	ha(10 ⁴ m ²)	مایل در ساعت	mph
ft ²	۹/۲۹×۱۰ ^{-۲}	متر مربع	m ²	گالن در دقیقه	gpm
in ²	۶۴۵	میلیمتر مربع	mm ²	فوت مکعب در ثانیه	cfs
mi ²	۲/۵۹	کیلومتر مربع	km ²	فشار	
حجم			مگا پاسکال		
bushel,bu	۳۵/۲۴	لیتر	L	atm	۰/۱۰۱
ft ³	۲/۸۳×۱۰ ^{-۲}	متر مکعب	m ³	بار	bar
1n ³	۱/۶۴×۱۰ ^{-۵}	متر مکعب	m ³	پوند در فوت مربع	lb/ft ²
U.S., gal	۳/۷۸	لیتر	L	پوند در اینچ مربع	lb/in ²
quart,qt	۰/۹۴۶	لیتر	L	دما	
ac-ft	۱۲/۳۳	هکتار سانتیمتر	ha-cm	درجه فارنهایت	°F-32
ac-in	۱/۰۳×۱۰ ^{-۲}	هکتار متر	ha-m	درجه سلسیوس	°C+273
oz(fluid)	۲/۹۶×۱۰ ^{-۲}	لیتر	L	انرژی	
pint,pt	۰/۴۷۳	لیتر	L	واحد گرمایی انگلیسی	
جرم			Btu		
ounce,oz	۲۸/۴	گرم	g	۱/۰۵×۱۰ ^{-۳}	ژول
Pound,Lb	۰/۴۵۴	کیلوگرم	kg(10 ³ g)	ژول	J
ton(۲۰۰۰Lb)	۰/۹۰۷	مگاگرم	Mg(10 ⁶ g)	۴/۱۹	ژول
tonne,t	۱۰۰۰	کیلوگرم	kg	۱۰ ^{-۵}	نیوتن
پرتو زایی			دین		
curie,ci	۳/۷×۱۰ ^{۱۱}	بکرل	Becquerel,Bq	۱۰ ^{-۷}	ژول
Pci/g	۳۷	بکرل در کیلوگرم	Bq/kg	ارگ	erg
درصد			فوت پوند		
قسمت در میلیون			frib		
میلی اکیوالنت در ۱۰۰ گرم			غلظت		
Bq/kg			%		
cmol/kg			گرم در کیلوگرم		
۱			۱۰		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		
۱			۱		

(۱) برای تبدیل واحدهای SI به غیر SI اعداد مربوطه را بر ضریب آن تقسیم نمایید.

Periodic Table of the Elements with Notes Concerning Relevance to Soil Science

Based on atomic mass of $^{12}\text{C} = 12.0$. Numbers in parentheses are the mass numbers of the most stable isotopes of radioactive elements.

Group IA		Group IIA		Group IIIB		Group IVB		Group VB		Group VIB		Group VIIB		Group VIIIB		Group IIB		Group IIIA		Group IVA		Group VA		Group VIA		Group VIIA		Group VIIIA																																																																																																																																													
1	H 1.01 Hydrogen	4	Be 9.01 Beryllium			22	Ti 47.88 Titanium	23	V 50.94 Vanadium	24	Cr 52.00 Chromium	25	Mn 54.94 Manganese	26	Fe 55.85 Iron	27	Co 58.93 Cobalt	28	Ni 58.69 Nickel	29	Cu 63.55 Copper	30	Zn 65.38 Zinc	31	Ga 69.72 Gallium	32	Ge 72.59 Germanium	33	As 74.92 Arsenic	34	Se 78.96 Selenium	35	Br 79.90 Bromine	36	Kr 83.80 Krypton	37	Rb 85.47 Rubidium	38	Sr 87.62 Strontium	39	Y 88.91 Yttrium	40	Zr 91.22 Zirconium	41	Nb 92.91 Niobium	42	Mo 95.94 Molybdenum	43	Tc (98) Technetium	44	Ru 101.07 Ruthenium	45	Rh 102.91 Rhodium	46	Pd 106.42 Palladium	47	Ag 107.87 Silver	48	Cd 112.41 Cadmium	49	In 114.82 Indium	50	Sn 118.71 Tin	51	Sb 121.75 Antimony	52	Te 127.60 Tellurium	53	I 126.90 Iodine	54	Xe 131.29 Xenon	55	Cs 132.91 Cesium	56	Ba 137.33 Barium	57	La 138.91 Lanthanum	58	Ce 140.12 Cerium	59	Pr 140.91 Praseodymium	60	Nd 144.24 Neodymium	61	Pm (145) Promethium	62	Sm 150.36 Samarium	63	Eu 151.96 Europium	64	Gd 157.25 Gadolinium	65	Tb 158.93 Terbium	66	Dy 162.50 Dysprosium	67	Ho 164.93 Holmium	68	Er 167.26 Erbium	69	Tm 168.93 Thulium	70	Yb 173.04 Ytterbium	71	Lu 174.97 Lutetium	72	Hf 178.49 Hafnium	73	Ta 180.95 Tantalum	74	W 183.85 Tungsten	75	Re 186.21 Rhenium	76	Os 190.2 Osmium	77	Ir 192.22 Iridium	78	Pt 195.08 Platinum	79	Au 196.97 Gold	80	Hg 200.59 Mercury	81	Tl 204.38 Thallium	82	Pb 207.2 Lead	83	Bi 208.98 Bismuth	84	Po (209) Polonium	85	At (210) Astatine	86	Rn (222) Radon	87	Fr (223) Francium	88	Ra (226) Radium	89	Ac (227) Actinium	90	Th (232) Thorium	91	Pa (231) Protactinium	92	U (238) Uranium	93	Np (237) Neptunium	94	Pu (244) Plutonium	95	Am (243) Americium	96	Cm (247) Curium	97	Bk (247) Berkelium	98	Cf (251) Californium	99	Es (252) Einsteinium	100	Fm (257) Fermium	101	Md (258) Mendelevium	102	No (259) Nobelium	103	Lr (260) Lawrencium

Atomic number		Symbol		Atomic mass	
1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42
43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54
55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66
67	68	69	70	71	72
73	74	75	76	77	78
79	80	81	82	83	84
85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96
97	98	99	100	101	102
103	104	105	106	107	108
109	110	111	112	113	114
115	116	117	118	119	120
121	122	123	124	125	126
127	128	129	130	131	132
133	134	135	136	137	138
139	140	141	142	143	144
145	146	147	148	149	150
151	152	153	154	155	156
157	158	159	160	161	162
163	164	165	166	167	168
169	170	171	172	173	174
175	176	177	178	179	180
181	182	183	184	185	186
187	188	189	190	191	192
193	194	195	196	197	198
199	200	201	202	203	204
206	207	208	209	210	211
213	214	215	216	217	218
219	220	221	222	223	224
226	227	228	229	230	231
232	233	234	235	236	237
238	239	240	241	242	243
244	245	246	247	248	249
251	252	253	254	255	256
258	259	260	261	262	263
265	266	267	268	269	270
271	272	273	274	275	276
277	278	279	280	281	282
285	286	287	288	289	290
291	292	293	294	295	296
297	298	299	300	301	302
304	305	306	307	308	309
310	311	312	313	314	315
317	318	319	320	321	322
324	325	326	327	328	329
331	332	333	334	335	336
338	339	340	341	342	343
345	346	347	348	349	350
351	352	353	354	355	356
358	359	360	361	362	363
365	366	367	368	369	370
373	374	375	376	377	378
381	382	383	384	385	386
389	390	391	392	393	394
397	398	399	400	401	402
404	405	406	407	408	409
411	412	413	414	415	416
418	419	420	421	422	423
425	426	427	428	429	430
433	434	435	436	437	438
441	442	443	444	445	446
449	450	451	452	453	454
457	458	459	460	461	462
465	466	467	468	469	470
473	474	475	476	477	478
481	482	483	484	485	486
489	490	491	492	493	494
497	498	499	500	501	502
505	506	507	508	509	510
513	514	515	516	517	518
521	522	523	524	525	526
529	530	531	532	533	534
537	538	539	540	541	542
545	546	547	548	549	550
553	554	555	556	557	558
561	562	563	564	565	566
569	570	571	572	573	574
577	578	579	580	581	582
585	586	587	588	589	590
593	594	595	596	597	598
601	602	603	604	605	606
609	610	611	612	613	614
617	618	619	620	621	622
625	626	627	628	629	630
633	634	635	636	637	638
641	642	643	644	645	646
649	650	651	652	653	654
657	658	659	660	661	662
665	666	667	668	669	670
673	674	675	676	677	678
681	682	683	684	685	686
689	690	691	692	693	694
697	698	699	700	701	702
705	706	707	708	709	710
713	714	715	716	717	718
721	722	723	724	725	726
729	730	731	732	733	734
737	738	739	740	741	742
745	746	747	748	749	750
753	754	755	756	757	758
761	762	763	764	765	766
769	770	771	772	773	774
777	778	779	780	781	782
785	786	787	788	789	790
793	794	795	796	797	798
801	802	803	804	805	806
809	810	811	812	813	814
817	818	819	820	821	822
825	826	827	828	829	830
833	834	835	836	837	838
841	842	843	844	845	846
849	850	851	852	853	854
857	858	859	860	861	862
865	866	867	868	869	870
873	874	875	876	877	878
881	882	883	884	885	886
889	890	891	892	893	894
897	898	899	900	901	902
905	906	907	908	909	910
913	914	915	916	917	918
921	922	923	924	925	926
929	930	931	932	933	934
937	938	939	940	941	942
945	946	947	948	949	950
953	954	955	956	957	958
961	962	963	964	965	966
969	970	971	972	973	974
977	978	979	980	981	982
985	986	987	988	989	990
993	994	995	996	997	998
999	1000	1001	1002	1003	1004

Metals ← Nonmetals

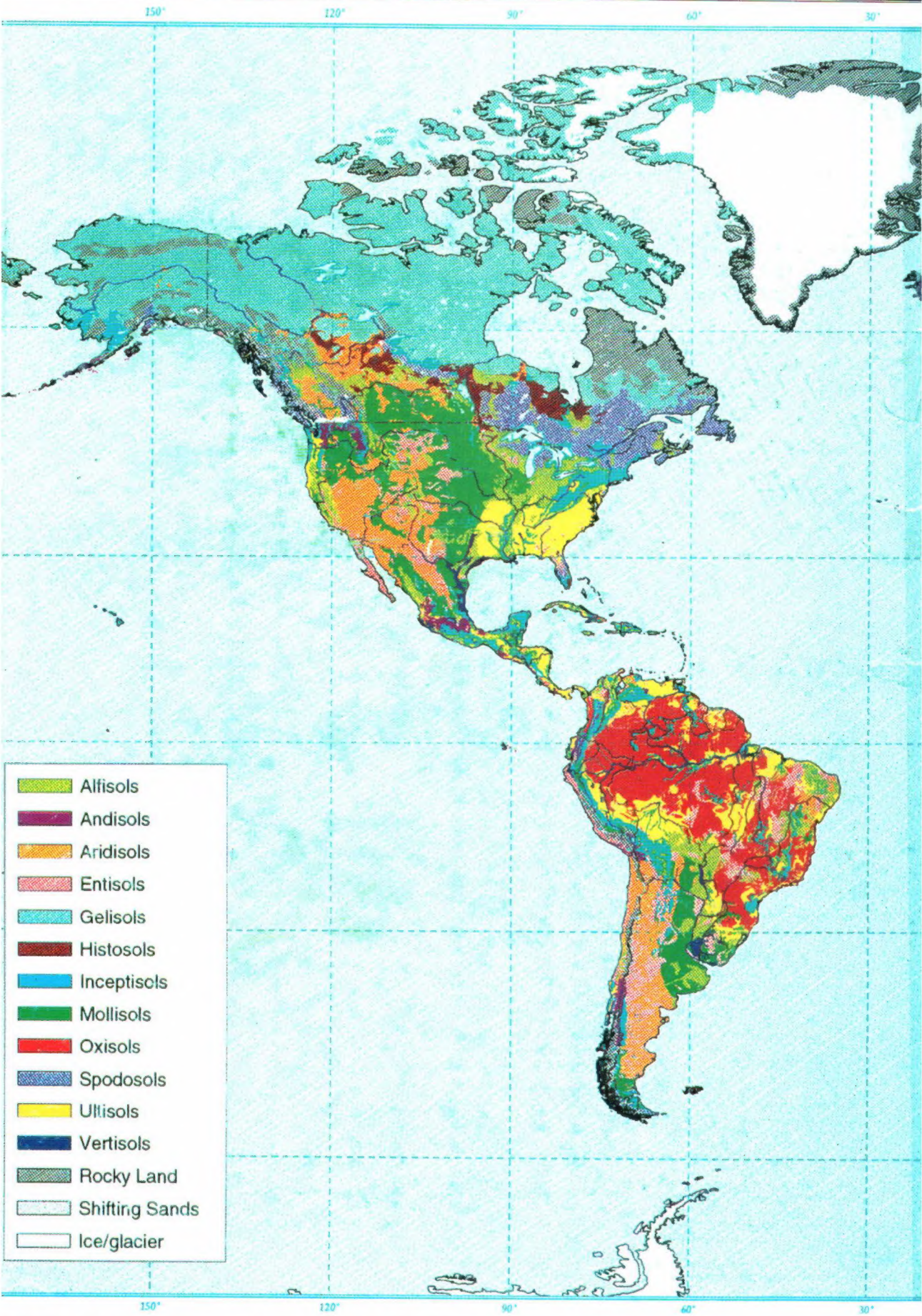
- ☐ Elements known to be nutrients for animals or plants. Some are also toxic in excessive amounts.
- ☐ Elements toxic to organisms in small amounts, and not known to serve as nutrients.
- ☐ Other elements commonly studied in Soil Science because of soil environmental impacts or because of their use as tracers or electrodes. (Br is used to trace anionic solutes such as nitrate. Isotopes of Rb and Sr are used to trace K and Ca in plants and soils. Cs and Ti are used to trace geological processes such as soil erosion. Pt and Ag are used in electrodes for measuring soil redox potential and pH, respectively.)



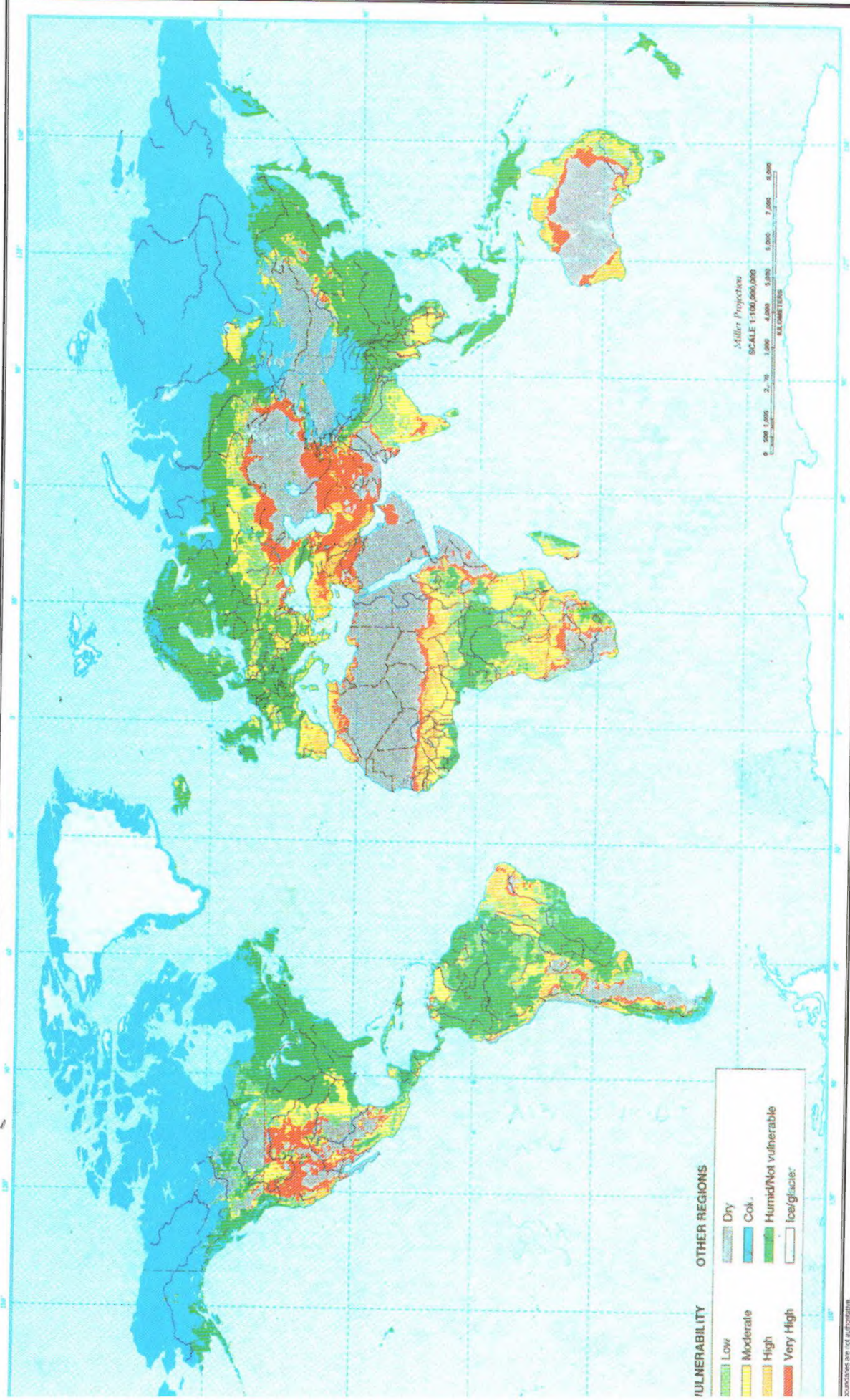
Miller Projection

SCALE 1:100,000,000

0 500 1,000 2,000 3,000 4,000 5,000 6,000 7,000 8,000
KILOMETERS



Global Desertification Vulnerability



Global Distribution of Acid Soils

